

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 547-316-620.197
EDN: FMPXDF
DOI: 10.21285/achb.1000



Синтез несимметричных вторичных аминов и их антакоррозионная активность

**Е.С. Акимова, Р.М. Султанова[✉], Р.У. Рабаев,
Ю.Г. Борисова, С.С. Злотский**

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Аннотация. Поиск новых ингибиторов коррозии является актуальным и важным направлением развития современной химической отрасли ввиду необходимости защиты металлических конструкций и оборудования от разрушительного воздействия агрессивных сред. Коррозия значительно снижает долговечность и надежность металлических изделий, что ведет к увеличению эксплуатационных расходов, повышает риск аварий и негативно сказывается на экологической безопасности, в связи с чем представляется актуальным синтез соединений с потенциально возможным антакоррозионным действием. С целью расширения рядов таких веществ при помощи конденсации циклических альдегидов и первичных аминов, а также восстановления продуктов конденсации получены вторичные амины. Строение синтезированных соединений подтверждено методами инфракрасной спектроскопии, спектроскопии ядерного магнитного резонанса (^1H , ^{13}C). В инфракрасных спектрах синтезированных азометинов наблюдаются характерные для иминов полосы поглощения валентных колебаний связей C=N при 1650 – 1570 cm^{-1} . В спектрах ядерного магнитного резонанса ^1H протоны азометиновой группы резонируют в области $8,15$ – $8,25$ м.д., в спектрах ядерного магнитного резонанса ^{13}C атомы углерода иминной группы проявляются в области δ_c $158,00$ – $161,00$ м.д. Способность полученных соединений препятствовать коррозии в модельной среде была проверена гравиметрическим методом. Оценка защитных свойств исследованных соединений проводилась электрохимическим методом. Результаты коррозионной активности полученных соединений соотносятся с данными, приведенными в библиографических источниках. Наиболее высокий результат показал вторичный амин 2-((2-((4-хлорбензил)амино)этил)амино)этан-1-ол, проявляющий антакоррозионные свойства в сероводородной среде и обеспечивающий степень защиты, равную 97%.

Ключевые слова: имины, основания Шиффа, восстановление, амины, конденсация

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке программы развития Уфимского государственного нефтяного технического университета «Приоритет-2030» (Лидерский проект 2025 года № 517619).

Для цитирования: Акимова Е.С., Султанова Р.М., Рабаев Р.У., Борисова Ю.Г., Злотский С.С. Синтез несимметричных вторичных аминов и их антакоррозионная активность // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. № 4. С. 456–464. DOI: 10.21285/achb.1000. EDN: FMPXDF.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Synthesis of asymmetric secondary amines and their anticorrosive properties

**Elisaveta S. Akimova, Rimma M. Sultanova[✉], Ruslan U. Rabaev,
Yulianna G. Borisova, Semen S. Zlotsky**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

Abstract. Given the need to protect metal structures and equipment from the destructive effects of aggressive media, the search for new corrosion inhibitors constitutes a relevant and important area of development in the

© Акимова Е.С., Султанова Р.М., Рабаев Р.У., Борисова Ю.Г., Злотский С.С., 2025

modern chemical industry. Corrosion significantly reduces the durability and reliability of metal products, which increases maintenance costs and the risk of failures, while also negatively affecting environmental safety. Therefore, it is relevant to synthesize compounds with potential anticorrosive properties. In order to expand the range of such substances, secondary amines were obtained by condensing cyclic aldehydes and primary amines, as well as by reducing condensation products. The structure of the synthesized compounds was confirmed via infrared spectroscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy (^1H and ^{13}C). The infrared spectra of the synthesized azomethines reveal imine-characteristic C=N stretch absorption bands at 1650–1570 cm⁻¹. In the ^1H nuclear magnetic resonance spectra, the protons of the azomethine group resonate at 8.15–8.25 ppm; the ^{13}C nuclear magnetic resonance spectra reveal the carbon atoms of the imine group at δ_c of 158.00–161.00 ppm. The ability of the obtained compounds to inhibit corrosion in a model medium was tested using a gravimetric method. Their protective properties were evaluated using an electrochemical method. The properties of the obtained compounds are consistent with data presented in bibliographic sources. The best result was obtained for the secondary amine 2-((2-(4-chlorobenzyl)amino)ethyl)amino)ethan-1-ol, which exhibits anticorrosive properties in a hydrogen sulfide medium and provides a 97% protection level.

Keywords: imines, Schiff bases, reduction, amines, condensation

Funding. The work was carried out with the financial support of the development program of the Ufa State Petroleum Technological University "Priority 2030" (Leadership Project of 2025 no. B17619).

For citation: Akimova E.S., Sultanova R.M., Rabaev R.U., Borisova Yu.G., Zlotsky S.S. Synthesis of asymmetric secondary amines and their anticorrosive properties. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2025;15(4):456-464. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.1000. EDN: FMPXDF.

ВВЕДЕНИЕ

Использование ингибиторов коррозии является одним из наиболее эффективных методов защиты металлических поверхностей от данного процесса, особенно в кислых средах [1, 2]. К наиболее эффективным ингибиторам коррозии относятся органические соединения, содержащие атомы азота, кислорода, серы и кратные связи в молекулах, которые облегчают адсорбцию на поверхности металла [3]. Следует отметить, что азотсодержащие соединения образуют менее токсичные продукты взаимодействия с коррозионной средой, поэтому они предпочтительнее для разработки и создания эффективных антакоррозионных присадок [4]. Среди азотсодержащих соединений высокую антакоррозионную активность проявляют замещенные имидазолины [5–7], амины различного строения [8–10], четвертичные аммониевые соли на основе аминов гетероциклического ряда [11], аминоэтилэтаноламин, а также азометины, известные как поглотители сероводорода из нефтепродуктов и товарной нефти [12], и компоненты летучих ингибиторов коррозии [13].

Целью настоящей работы явился синтез азометинов на основе конденсации промышленных аминов (этилендиамина, (N,N-диметил)пропилендиамина, 3-(пиперазин-1-ил)пропан-1-амина, 2-((2-аминоэтил)амино)этан-1-ола, 2-аминоэтан-1-ола) с ароматическими и гетероарomaticскими альдегидами, их восстановление до вторичных аминов и изучение антакоррозионной активности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^1H и ^{13}C регистрировали на спектрометре Bruker Avance III HD 400 (Bruker, Германия) с рабочими частотами 400,15 и 100,63 МГц соответственно, внутренний стандарт – Me₄Si.

Инфракрасные (ИК) спектры регистрировали на приборе Shimadzu IR Prestige 21 (Shimadzu, Япония) в тонком слое. Ход реакций и чистоту соединений контролировали с помощью тонкослойной хроматографии на пластинах с силикагелем марки Sorbfil (Россия).

Растворители (бензол, гексан, метиловый спирт, этиловый спирт) очищали по стандартным методикам¹.

Получение оснований Шиффа (общая методика). К раствору альдегида **1a,b** (7 ммоль) в 35 мл бензола добавляли амин **2a–e** (7 ммоль) и катализатор КУ-2-8 20%, перемешивали при температуре 80 °С в течение 25–40 мин (в случае получения бис-иминов берется соотношение 1:2). После окончания реакции смесь охлаждали до комнатной температуры, добавляли 20 мл этилацетата, фильтровали для удаления катализатора, растворитель удаляли при пониженном давлении. В случае необходимости кристаллизовали из метилового спирта.

(E)-2-((4-хлоробензилиден)амино)этан-1-ол **3a.** Выход 0,5 г, 50%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1632, 1584 (C=N), 1082, 833 (C-Cl), 3622 (O-H). Спектр ЯМР ^1H (CDCl₃), δ , ppm (J , Hz): 3,78–3,75 м (2H, CH₂CH₂OH), 3,94–3,92 м (2H, CH₂CH₂OH), 5,42 с (1H, CH₂CH₂OH), 7,41 д (2H, C², C⁶, C₆H₄, J 8,46), 7,69 д (2H, C³, C⁵, C₆H₄, J 8,47), 8,30 с (1H, CH=N). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl₃), δ , ppm: 62,3 (CH₂CH₂OH), 63,2 (CH₂CH₂OH), 128,9 (C³, C⁵, C₆H₄), 129,3 (C², C⁶, C₆H₄), 134,3 (C⁴, C₆H₄), 136,8 (C¹, C₆H₄), 161,7 (CH=N).

(E)-2-((пиридин-4-илметилен)амино)этан-1-ол **3b.** Выход 0,90 г, 90%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3062 (C=N_{py}), 1681, 1540 (C=N), 3321 (O-H). Спектр ЯМР ^1H (CDCl₃), δ , ppm (J , Hz): 2,70 с (1H, CH₂CH₂OH), 3,85–3,78 м (2H, CH₂CH₂OH), 3,71–3,68 м (2H, CH₂CH₂OH), 7,42–7,40 м (2H, C³, C⁵, C₆H₄), 8,16 с (1H, CH=N), 8,48–8,47 м (2H, C², C⁶, C₆H₄). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl₃), δ , ppm: 60,2 (CH₂CH₂OH), 65,5 (CH₂CH₂OH), 121,9 (C³, C⁵, C₆H₄), 142,8 (C⁴, C₆H₄), 149,4 (C², C⁶, C₆H₄), 160,65 (CH=N).

¹Gordon A.J., Ford R.A. The chemist's companion: a handbook of practical data, techniques, and references. New York: John Wiley & Sons, 1973. 560 p.

(E)-3-((4-хлорбензилиден)амино)-N,N-диметилпропан-1-амин **3c**. Выход 0,48 г, 48%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1653, 1531 (C=N), 1113, 831 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 1,90–1,83 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 2,25 с (6H, N(CH₃)₂), 2,41–2,36 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 3,63–3,60 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 7,36 д (2H, C², C⁶, C₆H₄, *J* 8,46), 7,64 д (2H, C³, C⁵, C₆H₄), 8,22 с (1H, CH=N). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 28,5 (CH₂CH₂CH₂), 45,1 (N(CH₃)₂), 57,2 (CH₂CH₂CH₂), 59,3 (CH₂CH₂CH₂), 128,8 (C², C⁶, C₆H₄), 130,8 (C³, C⁵, C₆H₄), 134,7 (C⁴, C₆H₄), 136,4 (C¹, C₆H₄), 159,7 (CH=N).

(E)-1-(4-хлорфенил)-N-(2-(пиперазин-1-ил)этил)метанимин **3d**. Выход 0,69 г, 69%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1671, 1535 (C=N), 1085, 842 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 1,96 с (1H, NH, C₄H₉N₂), 2,53 с (2H, C², C³, C⁵, C⁶, C₄H₉N₂), 2,70–2,64 м (4H, C², C³, C⁵, C⁶, C₄H₉N₂), 2,92–2,89 м (4H, C², C³, C⁵, C⁶, C₄H₉N₂), 3,77–3,63 м (2H, CH₂CH₂), 7,38–7,27 м (4H, C², C⁶, C₆H₄), 7,66–7,61 м (4H, C³, C⁵, C₆H₄), 8,25 с (1H, CH=N). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 45,9 (C³, C⁵, C₄H₉N₂), 54,5 (C², C⁶, C₄H₉N₂), 58,9 (CH₂CH₂), 59,3 (CH₂CH₂), 128,3 (C², C⁶, C₆H₄), 128,8 (C³, C⁵, C₆H₄), 134,6 (C⁴, C₆H₄), 136,5 (C¹, C₆H₄), 160,5 (CH=N).

(E)-2-(((4-хлорбензилиден)амино)метил)амино)этан-1-ол **3e**. Выход 0,85 г, 85%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1648, 1583 (C=N), 1032, 845, 820 (C-Cl), 3398 (N-H), 3632, 3320 (O-H). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 2,94–2,71 м (4H, CH₂CH₂), 3,14 с (2H, CH₂CH₂), 3,76–3,63 м (4H, NHCH₂CH₂OH), 7,29 д (2H, C², C⁶, C₆H₄, *J* 2,05), 7,63 д (2H, C³, C⁵, C₆H₄, *J* 1,71), 8,17 с (1H, CH=N), 8,28 с (2H, NHCH₂CH₂OH). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 52,5 (CH₂CH₂), 52,8 (NHCH₂CH₂OH), 60,8 (CH₂CH₂), 65,3 (NHCH₂CH₂OH), 128,92 (C² и C⁶, C₆H₄), 129,2 (C³, C⁵, C₆H₄), 136,6 (C⁴, C₆H₄), 138,3 (C¹, C₆H₄), 160,7 (CH=N).

(E)-N,N-диметил-3-((пиридин-4-илметилен)амино)пропан-1-амин **3f**. Выход 0,59 г, 80%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3073, 3040 (C=N_{py}), 1648, 1589 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 1,56–1,49 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 1,87 с (6H, N(CH₃)₂), 2,02–1,98 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 3,34–3,31 м (2H, CH₂CH₂CH₂), 7,24 д (2H, C³, C⁵, C₆H₄, *J* 4,62), 7,90 с (1H, CH=N), 8,32 д (2H, C², C⁶, C₆H₄, *J* 4,58). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 28,2 (CH₂CH₂CH₂), 45,0 (N(CH₃)₂), 56,9 (CH₂CH₂CH₂), 59,1 (CH₂CH₂CH₂), 121,7 (C³, C⁵, C₆H₄), 142,7 (C⁴, C₆H₄), 149,9 (C², C⁶, C₆H₄), 158,7 (CH=N).

(E)-N-(2-(пиперазин-1-ил)этил)-1-(пиридин-4-ил)метанимин **3g**. Выход 0,49 г, 66%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3060, 3023 (C=N_{py}), 1683, 1541 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 1,88 с (1H, NH, C₄H₉N₂), 2,50–2,36 м (2H, CH=N-CH₂CH₂-N), 2,72–2,65 м (8H, C², C³, C⁵, C⁶, C₄H₉N₂), 3,81–3,73 м (2H, CH=N-CH₂CH₂-N), 7,56 д.д. (4H, C², C³, C⁵, C⁶, C₆H₄, *J* 11,48, ³J 5,82), 8,67 д (2H, CH=N, *J* 5,78). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 46,0 (C³, C⁵, C₄H₉N₂), 54,8 (C², C⁶, C₄H₉N₂), 58,5 (CH=N-CH₂CH₂-N), 59,4 (CH=N-CH₂CH₂-N), 121,8 (C², C⁶, C₆H₄), 142,8 (C⁴, C₆H₄), 150,3 (C³, C⁵, C₆H₄), 159,9 (CH=N).

(E)-2-((2-(пиридин-4-илметилен)амино)этил)амино)этан-1-ол **3h**. Выход 0,56 г, 80%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3076, 3031 (C=N_{py}), 1649, 1587 (C=N), 3315 (N-H), 3625 (O-H). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 2,66–2,53 м (2H, NHCH₂CH₂-OH), 2,84–2,81 м (2H, CH₂CH₂), 3,97–3,92 м (3H, CH₂CH₂), 4,09 с (NHCH₂CH₂-OH), 7,28 д (2H, C³, C⁵, C₅H₄, *J* 5,89), 8,15 с (1H, CH=N), 8,40 д (2H, C², C⁶, C₅H₄, *J* 3,66). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 49,3 (CH₂CH₂),

52,8 (NHCH₂CH₂-OH), 59,6 (CH₂CH₂), 60,5 (NHCH₂CH₂-OH), 121,7 (C³, C⁵, C₆H₄), 142,7 (C⁴, C₆H₄), 150,1 (C², C⁶, C₆H₄), 160,1 (CH=N).

(⁴E,¹E)-N,N'-этан-1,2-диил)бис(1-(4-хлорфенил)метанимин **3i**. Выход 0,46 г, 92%, белые блестящие кристаллы. Т.пл. 149–150 °C. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 1647, 1594 (C=N), 1082, 835, 818 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 3,97 с (4H, CH=N-CH₂CH₂-N=CH), 7,28 с (2H, C², C⁶, C₆H₄), 7,38–7,35 м (2H, C², C⁶, C₆H₄), 7,65–7,62 м (4H, C³, C⁵, C₆H₄), 8,24 с (2H, CH=N). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 61,4 (CH=N-CH₂CH₂-N=CH), 128,8 (C², C⁶, C₆H₄), 129,2 (C³, C⁵, C₆H₄), 134,5 (C⁴, C₆H₄), 136,6 (C¹, C₆H₄), 161,3 (CH=N).

(⁴E,¹E)-N,N'-этан-1,2-диил)бис(1-(пиридин-4-ил)метанимин **3j**. Выход 0,34 г, 91%, светло-коричневый порошок. Т.пл. 128–130 °C. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3076, 3040 (C=N_{py}), 1649, 1599, 1558 (C=N). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 4,05 с (4H, CH=N-CH₂CH₂-N=CH), 7,61–7,55 м (4H, C³, C⁵, C₅H₄), 8,28 с (2H, CH=N), 8,71–8,67 м (4H, C², C⁶, C₅H₄). Спектр ЯМР ¹³C (125 MHz, CDCl₃), δ , ppm: 61,2 (CH=N-CH₂CH₂-N=CH), 121,8 (C³, C⁵, C₆H₄), 142,6 (C⁴, C₆H₄), 150,4 (C², C⁶, C₆H₄), 160,8 (CH=N).

Восстановление оснований Шиффа (общая методика). К раствору имина **3a-j** (10 ммоль) в 30 мл бензола добавляли заранее приготовленный раствор NaBH₄ (20 ммоль) в ледяной уксусной кислоте (60 ммоль) и 10 мл бензола. Смесь перемешивали в течение 6 ч при комнатной температуре и оставляли на ночь. Далее к получившейся смеси приливали 50 мл раствора NaOH 20%. Органический слой отделяли, сушили MgSO₄. Растворитель упаривали, твердый остаток перекристаллизовывали из этанола.

2-((4-хлорбензил)амино)этан-1-ол **4a**. Выход 0,5 г, 50%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3622 (O-H), 3348 (N-H), 1082, 832 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 2,07 с (2H, CH₂NHCH₂CH₂OH), 2,76 с (2H, CH₂CH₂OH), 3,62 с (2H, CH₂NH), 3,86 с (2H, CH₂CH₂OH), 7,27–7,21 м (2H, C³, C⁵, C₆H₄), 7,29 д (2H, C², C⁶, C₆H₄, *J* 8,25). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 50,3 (CH₂CH₂OH), 57,7 (CH₂NH), 61,08 (CH₂CH₂OH), 129,8 (C³H, C⁵, C₆H₄), 131,0 (C², C⁶, C₆H₄), 134,6 (C¹, C₆H₄), 137,1 (C⁴, C₆H₄).

2-((пиридин-4-илметил)амино)этан-1-ол **4b**. Выход 0,5 г, 33%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3382 (N-H), 3321(O-H), 3068, 3091 (C=N_{py}). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 3,75–3,66 м (4H, CH₂CH₂OH), 3,88 с (2H, CH₂NH), 5,95 с (2H, CH₂NH), 7,34–7,28 м (2H, C³, C⁵, C₅H₄), 8,53 д.д. (2H, C², C⁶, C₆H₄, *J* 5,49, ³J 4,30). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 50,4 (CH₂CH₂OH), 51,7 (CH₂NH), 59,5 (CH₂CH₂OH), 123,7 (C³, C⁵, C₅H₄), 148,4 (C⁴, C₆H₄), 149,5 (C², C⁶, C₆H₄).

N¹-(4-хлорбензил)-N³,N³-диметилпропан-1,3-диамин **4c**. Выход 1,2 г, 39%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3443 (N-H), 1110, 838 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 1,84 с (6H, CH₂NHCH₂CH₂N(CH₃)₂), 1,98–1,93 м (4H, CH₂CH₂CH₂), 2,51–2,46 т (2H, CH₂CH₂CH₂, *J* 21,91), 2,87–2,79 м (2H, CH₂NH), 3,37 с (1H, CH₂NH), 7,27–7,11 м (4H, C², C³, C⁵, C⁶, C₆H₄). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , ppm: 22,0 (CH₂CH₂CH₂), 42,7 (N(CH₃)₂), 44,4 (CH₂CH₂CH₂), 50,4 (CH₂NH), 54,9 (CH₂CH₂CH₂), 128,9 (C³, C⁵, C₆H₄), 131,1 (C², C⁶, C₆H₄), 132,6 (C¹, C₆H₄), 137,4 (C⁴, C₆H₄).

N-(4-хлорбензил)-3-(пиперазин-1-ил)пропан-1-амин **4d**. Выход 2 г, 80%, масло. ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3329 (N-H), 1081, 854 (C-Cl). Спектр ЯМР ¹H (400 MHz, CDCl₃), δ , ppm (*J*, Hz): 2,67–2,26 м (8H, C², C³, C⁵, C⁶, C₄H₉N₂), 2,90 с (1H, NH,

$C_4H_9N_2$), 3,43–3,36 м (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 3,73–3,66 м (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 4,50 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 7,39–7,13 м (4H, C^2 , C^3 , C^5 , C^6 , C_6H_4), 8,68 с (1H, $CH_2NHCH_2CH_2N$). Спектр ЯМР ^{13}C (125 MHz, $CDCl_3$, δ , ppm: 44,4 (C^3 , C^5 , $C_4H_9N_2$), 50,6 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 52,6 (C^2 , C^6 , $C_4H_9N_2$), 52,9 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 53,3 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 128,2 (C^2 , C^6 , C_6H_4), 130,4 (C^3 , C^5 , C_6H_4), 132,7 (C^4 , C_6H_4), 136,4 (C^1 , C_6H_5).

2-((2-(4-хлорбензил)амино)этил)амино)этан-1-ол **4e**. Выход 1 г, 44%, масло. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 3340 (N-H), 3627, 3327 (O-H), 3412 (N-H), 1035, 831, 825 (C-Cl). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 2,86–2,73 м (6H, $CH_2NHCH_2CH_2$), 3,58–3,50 м (2H, $NHCH_2CH_2OH$), 3,77–3,61 м (2H, $CH_2NHCH_2CH_2$), 4,39 с (3H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2CH_2OH$), 7,36–7,22 м (4H, C^2 , C^3 , C^5 , C^6 , C_6H_4). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 50,2 ($CH_2NHCH_2CH_2$), 51,4 ($CH_2NHCH_2CH_2$), 52,6 ($CH_2NHCH_2CH_2$), 53,1 ($CH_2NHCH_2CH_2$), 61,2 ($NHCH_2CH_2OH$), 128,9 (C^3 , C^5 , C_6H_4), 130,2 (C^2 , C^6 , C_6H_4), 132,9 (C^1 , C_6H_4), 137,6 (C^4 , C_6H_4).

N^1,N^2 -диметил- N^3 -(пиридин-4-илметил)пропан-1,3-диамин **4f**. Выход 0,9 г, 47%, масло. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 3431 (N-H), 3072, 3044 (C=N_{py}). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 1,47–1,42 м (2H, $CH_2CH_2CH_2$), 1,67–1,58 м (6H, $N(CH_3)_2$), 1,83–1,78 м (2H, $CH_2CH_2CH_2$), 2,11–2,06 м (2H, $CH_2CH_2CH_2$), 3,21 д (2H, CH_2NH , J 6,57), 4,07 с (1H, CH_2NH), 6,77–6,71 м (2H, C^3 , C^5 , C_6H_4), 8,01–7,94 м (2H, C^2 , C^6 , C_5H_4). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 27,1 ($CH_2CH_2CH_2$), 44,7 ($N(CH_3)_2$), 47,3 ($CH_2CH_2CH_2$), 52,0 (CH_2NH), 57,2 ($CH_2CH_2CH_2$), 122,4 (C^3 , C^5 , C_5H_4), 148,0 (C^4 , C_5H_4), 149,1 (C^2 , C^6 , C_6H_4).

2-(пиперазин-1-ил)-N-(пиридин-4-илметил)этан-1-амин **4g**. Выход 1,5 г, 68%, масло. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 3411 (N-H), 3061, 3041 (C=N_{py}). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 2,04 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 2,34–2,19 м (4H, C^3 , C^5 , $C_4H_9N_2$), 2,50–2,47 м (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 2,67–2,65 м (2H, C^2 , $C_4H_9N_2$), 3,34–3,28 м (2H, C^6 , $C_4H_9N_2$), 3,62 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$), 6,53 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$, NH, $C_4H_9N_2$), 7,14–7,07 м (2H, C^3 , C^5 , C_5H_4), 8,40–8,32 м (2H, C^2 , C^6 , C_6H_4). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 45,9 (C^3 , C^5 , $C_4H_9N_2$), 48,2 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 52,4 (C^2 , C^6 , $C_4H_9N_2$), 53,0 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 54,5 ($CH_2NHCH_2CH_2N$), 122,7 (C^2 , C^6 , C_5H_4), 147,48 (C^4 , C_5H_4), 149,7 (C^3 , C^5 , C_6H_4).

2-((пиридин-4-илметил)амино)этил)амино)этан-1-ол **4h**. Выход 0,8 г, 41%, масло. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 3629 (O-H), 3397 (N-H), 3061, 3310 (N-H), 3078 (C=N_{py}). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 2,58–2,46 м (4H, CH_2CH_2), 2,71–2,63 м (2H, $NHCH_2CH_2OH$), 3,48–3,41 м (2H, $CNHCH_2CH_2OH$), 3,89 с (2H, CH_2NH), 7,19 д (1H, J 5,79, C^2 , C_5H_4), 7,46 д (1H, J 5,94, C^6 , C_5H_4), 8,06 с (3H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2CH_2OH$), 8,59 д,д (2H, C^2 , C^6 , C_6H_4 , 2J 46,93, 3J 5,94). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 51,0 (CH_2CH_2), 51,1 (CH_2CH_2), 54,6 ($NHCH_2CH_2OH$), 55,7 (CH_2NH), 59,7 ($NHCH_2CH_2OH$), 123,4 (C^3 , C^5 , C_5H_4), 148,3 (C^4 , C_6H_4), 149,0 (C^2 , C^6 , C_5H_4).

N^1,N^2 -бис(4-хлорфенил)этан-1,2-диамин **4i**. Выход 1 г, 32%, белый кристаллический порошок. Т.пл. 123–125 °C. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 1082, 835, 818 (C-Cl). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 1,60 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 2,54–2,44 м (4H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 3,22–3,11 м (4H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 7,25 д,д (4H, C^3 , C^5 , C_6H_4 , 2J 28,32, 3J 8,34), 7,56 д,д (4H, C^2 , C^6 , C_6H_4 , 2J 67,20, 3J 8,35). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 50,6 ($CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 56,1 ($CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 128,3 (C^3 , C^5 , C_6H_4), 129,7 (C^2 , C^6 , C_6H_4), 132,6 (C^1 , C_6H_4), 137,4 (C^4 , C_6H_4).

N^1,N^2 -бис(пиридин-4-илметил)этан-1,2-диамин **4j**. Выход 1 г, 42%, желтое масло. ИК-спектр, ν , см $^{-1}$: 3263 (N-H), 3076, 3038 (C-N). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , ppm (J , Hz): 2,63 с (2H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 2,70 с (4H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 3,75 д (4H, $CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$, J 4,72), 7,21–7,12 м (4H, C^3 , C^5 , C_5H_4), 8,61–8,41 м (4H, C^2 , C^6 , C_5H_4). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , ppm: 48,3 ($CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 55,8 ($CH_2NHCH_2CH_2N$ - $NHCH_2$), 123,3 (C^3 , C^5 , C_5H_4), 147,6 (C^4 , C_5H_4), 149,8 (C^2 , C^6 , C_5H_4).

Методика определения антакоррозионной активности веществ в сероводородсодержащей среде. Для оценки способности веществ препятствовать коррозии применялся электрохимический метод исследования. Электрохимический анализ осуществлялся с использованием анализатора скорости коррозии «Моникор-2М» (УГНТУ, Россия). Устройство состоит из двух электродов, изготовленных из стали Ст3. Перед началом экспериментов поверхность стальных электродов обрабатывалась шлифовальной бумагой с зернистостью 180, а затем 240, при этом шлифовка осуществлялась вдоль длины электродов. Очистка подготовленных образцов от жировых загрязнений проводилась ацетоном непосредственно перед началом испытания. После этого электроды подвергали активации посредством многоступенчатой промывки. Изучаемое вещество (0,25 мл) растворялось в 25 мл этилового спирта. Лабораторные цилиндрические ячейки наполнялись определенным количеством 3% раствора хлорида натрия и насыщались азотом в течение 30 мин. После продувки в раствор добавляли рассчитанный объем сероводородной воды и 1,25 мл раствора исследуемого вещества в спирте. Затем электроды погружались в электрохимическую ячейку, предварительно заполненную исследуемой средой, и измерялась скорость коррозии в течение 60 мин. Для обеспечения точности результатов проводились одновременные испытания в двух ячейках с идентичной средой, а затем вычислялось среднее арифметическое значение скоростей коррозии.

Степень защиты от коррозии Z определяли по формуле

$$Z = \frac{n_0 - T_1}{n_0} \times 100\%,$$

где n_0 – скорость коррозии без ингибитора, мм/год; T_1 – скорость коррозии с ингибитором, мм/год.

Коэффициент торможения I определяли по формуле

$$I = \frac{n_0}{T_1},$$

где n_0 – скорость коррозии без ингибитора, мм/год; T_1 – скорость коррозии с ингибитором, мм/год.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что для синтеза азометинов в качестве катализаторов используются пара-толуолсульфокислота [14] и ледяная уксусная кислота [15], которые способствуют протонированию атома кислорода карбонильной группы, что облегчает образование иминной связи, а также ацетат калия [16] как щелочной катализатор. При использовании «зеленого растворителя» – полипропиленгликоля, применение катализатора не требуется [17]. Как правило, синтез протекает от 1 до 24 ч, выход целевого продукта составляет 90–98%.

В данной работе в качестве катализатора был выбран промышленно доступный КУ-2-8, позволяющий осуществлять реакции в мягких условиях.

Конденсацией альдегидов **1a,b** с моно- и диаминами (2-аминоэтан-1-ол **2a**, (*N,N*-диметил)пропилендиамин **2b**, 3-(пиперазин-1-ил)пропан-1-амин **2c**, 2-(2-аминоэтил)аминоэтан-1-ол **2d**, этилендиамин **2e**) при кипячении в бензole в присутствии КУ-2-8 в течение 25–45 мин были получены азометины **3a-j** с выходами 48–92%. Конденсация альдегидов **1a,b** с этилендиамином **2e** привела к образованию бис-иминов **3i,j** (рис. 1).

Строение полученных соединений **3a-j** подтверждено данными ^1H , ^{13}C ИК- и ЯМР-спектроскопии. В ИК-спектрах полученных азометинов **3i-j** наблюдаются характерные для иминов полосы поглощения валентных колебаний связей C=N при 1650–1570 см $^{-1}$. В спектрах ЯМР ^1H протоны азометиновой группы (CH=N) резонируют в области 8,15–8,25 м.д., в спектрах ЯМР ^{13}C атомы углерода иминной группы проявляются в области δ 158–161 м.д.

Полученные основания Шиффа **3a-h** были восстановлены до соответствующих вторичных аминов **4a-h** NaBH_4 в присутствии ледяной уксусной кислоты с выходами 30–80%. Реакция протекала при комнатной температуре в бензole за 6 ч (рис. 2).

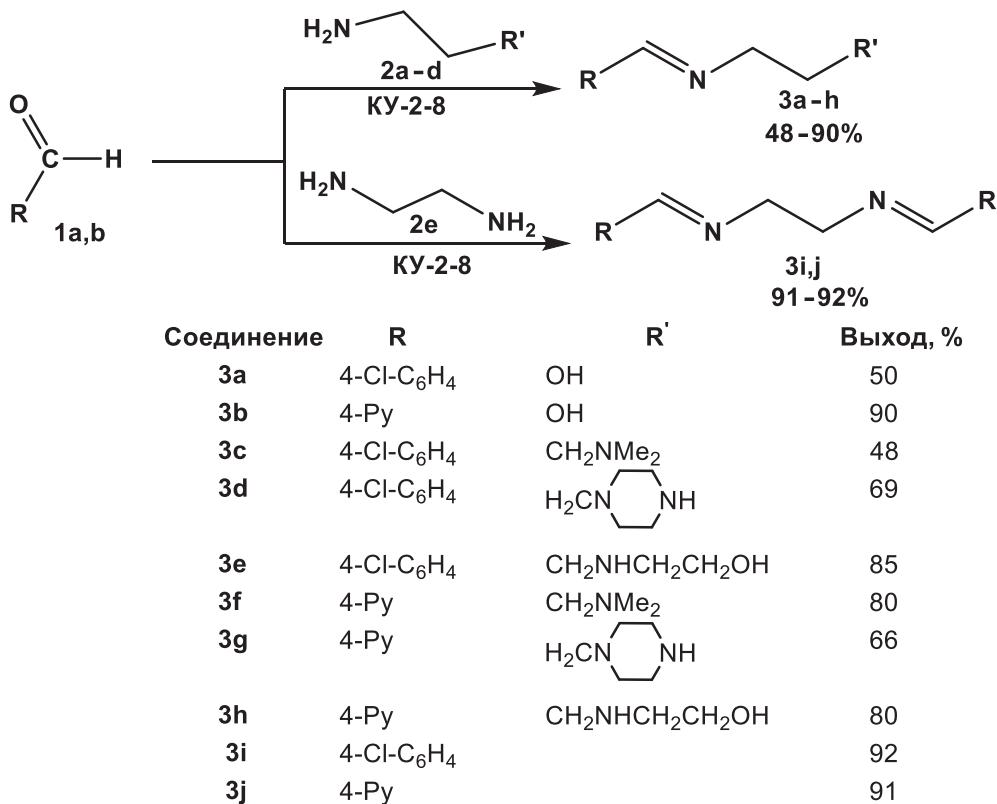
Восстановление бис-иминов в выбранных условиях протекало по обеим связям C=N, соответствующие диамины **4i,j** были выделены с выходами 30–42%.

Строение полученных соединений **4a-h** подтверждено данными ^1H , ^{13}C ИК- и ЯМР-спектроскопии. В ИК-спектрах вторичных аминов **4a-h** появляются сигналы поглощения в области 3300–3400 см $^{-1}$, характерные для связи NH. В спектрах ЯМР ^1H появляются уширенные синглеты, характерные для связи NH, а в спектрах ЯМР ^{13}C присутствуют сигналы атомов углерода, связанные с аминогруппой CH₂-NH, в области ~45–53 м.д.

В рамках исследования нами была оценена способность полученных соединений **3a-h** и **4a-i** препятствовать коррозии в модельной среде, насыщенной сероводородом и содержащей сильные активаторы коррозионного процесса. В растворе хлорида натрия данной концентрации (3%) наблюдается максимальная активность синтезированных соединений.

Оценка защитных свойств исследованных соединений проводилась электрохимическим методом. В этом случае эффективность защиты оценивают коэффициентом торможения, показывающим, во сколько раз ингибитор замедляет скорость коррозии, или степенью защиты, характеризующей полноту защиты [18]. В таблице представлены значения степени защиты исследуемых соединений.

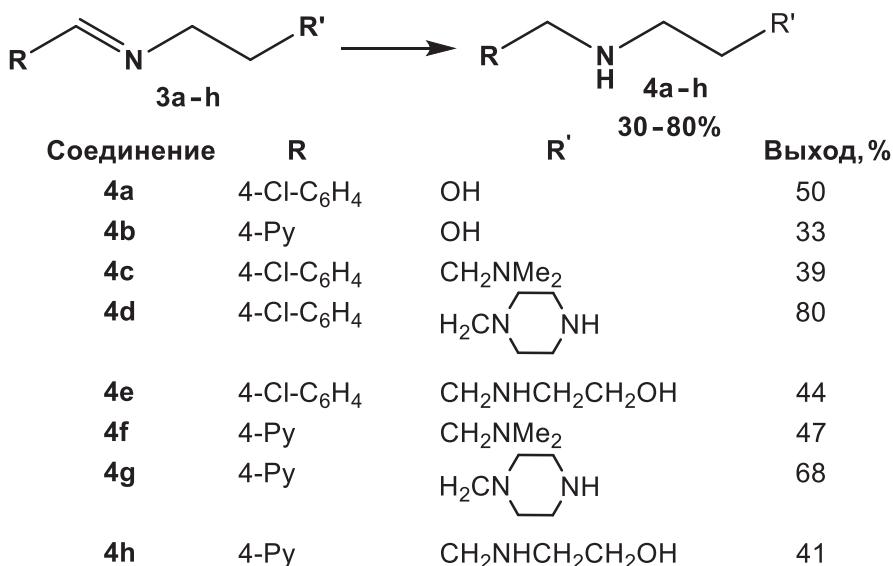
Наилучшие результаты по защите от коррозии показало соединение **4e**, обеспечившее 97% защиты (коэффициент торможения 30,05). Азометины **3a-h** продемонстрировали защитные свойства в диапазоне от 38 до 68% (коэффициент торможения 1,61–3,09). При этом



Условия реакции: бензол, КУ-2-8, 25–40 мин

Рис. 1. Синтез снований Шиффа

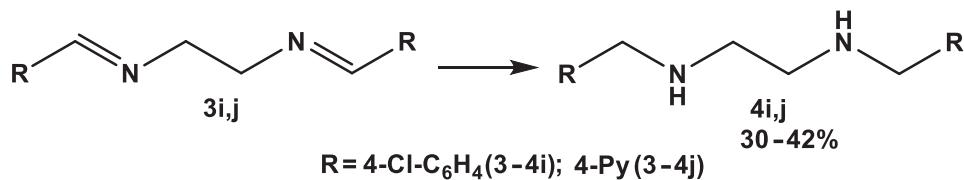
Fig. 1. Schiff base synthesis



Условия реакции: бензол, CH_3COOH , NaBH_4 , 6 ч, $T = 25^\circ\text{C}$

Рис. 2. Восстановление иминов За-h

Fig. 2. Reduction of imines 3a-h



Условия реакции: бензол, CH_3COOH , NaBH_4 , 18 ч, $T = 25^\circ\text{C}$

Рис. 3. Восстановление бис-иминов

Fig. 3. Reduction of bis-imines

Значения степени защиты и коэффициент торможения веществ За-*h* и 4а-*i* в сероводородсодержащей среде

Values of the protection degree and braking coefficient of substances 3a-h and 4a-i in a hydrogen sulfide containing medium

Номер соединения	Скорость коррозии, мм/год	Степень защиты, %	Коэффициент торможения	pKa*
3а	0,206	60	2,5	14,710
3б	0,196	62	2,6	14,580
3д	0,317	38	1,6	3,777
3е	0,165	68	3,1	9,049
3ф	0,179	65	2,8	9,981
3г	0,189	63	2,7	3,613
3х	0,182	64	2,8	8,885
4а	0,056	89	9,1	14,744
4с	0,123	76	4,1	9,570
4д	0,086	83	5,9	9,193
4е	0,017	97	30,0	14,777
4и	0,115	78	4,6	9,160
Без ингибитора	0,511	-	-	-

Примечание. * – данные взяты из базы данных CAS SciFinder.

вторичные амины **4a-i** оказались более эффективными – их степень защиты варьировалась от 76 до 97%. Более низкие значения защитных свойств иминов связаны, по-видимому, с меньшей адсорбцией на поверхности металла. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными, приведенными в библиографических источниках, свидетельствующими о том, что эффективность ингибирования коррозии стали основаниями Шиффа снижается с повышением температуры и увеличением продолжительности контакта и соответствует механизму физической адсорбции [19] и что основные амины, имеющие высокое значение рKa, лучше подавляют коррозию [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенной работы предложен метод синтеза вторичных аминов, основанный на восстановлении азометинов боргидридом натрия в присутствии ледяной уксусной кислоты.

Исследована способность полученных соединений **За-h** и **4a-i** препятствовать коррозии в модельной среде, насыщенной сероводородом. Установлено, что наибольшей антикоррозионной активностью обладают преимущественно вторичные амины. Определено, что соединение 2-((2-((4-хлорбензил)амино)этил)амино)этан-1-ол проявляет антикоррозионные свойства в сероводородной среде и обеспечивает степень защиты, равную 97%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sastry V.S. Corrosion Inhibitors. Principles and applications. New York: John Wiley & Sons, 1998. 903 p.
2. Bouayed M., Rabaa H., Srhiri A., Saillard J.-Y., Ben Bachir A., Le Beuze A. Experimental and theoretical study of organic corrosion inhibitors on iron in acidic medium // Corrosion Science. 1998. Vol. 41, no. 3. P. 501–517. DOI: 10.1016/S0010-938X(98)00133-4.
3. Bentiss F., Lagrenée M., Traisnel M., Hornez J.C. Bentiss F. et al. The corrosion inhibition of mild steel in acidic media by a new triazole derivative // Corrosion Science. 1999. Vol. 41, no. 4. P. 789–803. DOI: 10.1016/S0010-938X(98)00153-X.
4. Mandal S., Singh J.K., Lee D.-E., Park T. Ammonium phosphate as inhibitor to mitigate the corrosion of steel rebar in chloride contaminated concrete pore solution // Molecules. 2020. Vol. 25, no. 17. P. 3785. DOI: 10.3390/molecules25173785.
5. Фахретдинов П.С., Голубев И.Ю., Хамидуллин Р.Ф., Романов Г.В. Новые имидазолиневые соединения на основе оксиэтилированных алкилфенолов – ингибиторы кислотной коррозии // Вестник Казанского технологического университета. 2010. N 1. С. 280–287. EDN: KYTEHZ.
6. Cruz J., Martínez R., Genesca J., García-Ochoa E. Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazoline as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media // Journal of Electroanalytical Chemistry. 2004. Vol. 566, no. 1. P. 111–121. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.11.018.
7. Исмаилов О.Д. Исследование причин коррозии нефтепромыслового оборудования и разработка ингибиторов-бактерицидов на основе имидазолинов // SOCAR Proceedings. 2019. Т. 4. С. 61–66. DOI: 10.5510/OPG20190400412. EDN: ISHLJZ.
8. Finšgar M., Jackson J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: a review // Corrosion Science. 2014. Vol. 86. P. 17–41. DOI: 10.1016/j.corsci.2014.04.044.
9. Goncharova O.A., Luchkin A.Yu., Kuznetsov Yu.I., Andreev N.N., Andreeva N.P., Vesely S.S. Octadecylamine, 1,2,3-benzotriazole and a mixture thereof as chamber inhibitors of steel corrosion // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Vol. 7, no. 2. P. 203–212. DOI: 10.17675/2305-6894-2018-7-2-7.
10. Шатирова М.И., Авдеев Я.Г., Джафарова У.Ш. Замещенные пропаргиламины – ингибиторы кислотной коррозии сталей для нефтедобычи // Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94. N 8. С. 1040–1049. EDN: VAVZEV. DOI: 10.31857/S0044461821080107.
11. Ившин Я.В., Угрюмов О.В., Варнавская О.А. Ингибиторы коррозии на основе гетероциклических аминов. 1. Влияние структуры молекулы на защитные свойства // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. N 2. С. 77–80. EDN: TJLSUR.
12. Мумриков М.В., Цыпышев О.Ю., Сапожников Ю.Е., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Поглотители сероводорода на основе азометиновых соединений // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. N 1. С. 195–198. EDN: OYEYYT.
13. Кузнецов Ю.И., Агафонкин А.В., Зель О.О. Летучие ингибиторы атмосферной коррозии металлов на основе азометинов // Коррозия: материалы, защита. 2009. N 4. С. 17–23. EDN: KXJCXR.
14. Das S., Das V.K., Saikia L., Thakur A.J. Environment-friendly and solvent-free synthesis of symmetrical bis-imines under microwave irradiation // Green Chemistry Letters and Reviews. 2012. Vol. 5, no. 3. P. 457–474. DOI: 10.1080/17518253.2012.667443.
15. Al-Lami A.K. Preparation and mesomorphic characterization of supramolecular hydrogen-bonded dimer liquid crystals // Polycyclic Aromatic Compounds. 2016. Vol. 36, no. 3. P. 197–212. DOI: 10.1080/10406638.2014.957408.
16. Liang Z.-P., Li J. Synthesis and structural characterization of (2E,3E)-N¹,N²-Bis(4-chlorobenzylidene)ethane-1,2-diamine // Asian Journal of Chemistry. 2013. Vol. 25, no. 2. P. 663–665. DOI: 10.14233/ajchem.2013.12108b.
17. Van den Ancker T.R., Cave G.W.V., Raston C.L. Benign approaches for the synthesis of bis-imine Schiff bases // Green Chemistry. 2006. Vol. 8, no. 1. P. 50–53. DOI: 10.1039/b513289d.
18. Краснопёрова М.В. Изучение влияния некоторых аминов на коррозионное поведение стали // Молодой ученый. 2009. N 12. С. 113–116. EDN: LMUXPK.
19. Мехдиева Л.А., Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р. Применение оснований Шиффа в качестве ингибиторов коррозии // Вестник КНИИ РАН. Серия «Естественные и технические науки». 2023. Т. 3. С. 38–48. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2023.14.3.004. EDN: OOVTYF.
20. Гончарова О.А., Андреев Н.Н., Мамонов В.А. Об эффективности некоторых ЛИК в условиях интенсивной конденсации влаги. // Коррозия: защита материалов и методы исследований. 2023. N 3. С. 77–87. DOI: 10.61852/2949-3412-2023-1-3-77-87. EDN: PAZOGN.

REFERENCES

- 1.** Sastry V.S. *Corrosion Inhibitors. Principles and applications.* New York: John Wiley & Sons; 1998, 903 p.
- 2.** Bouayed M., Rabaa H., Srhiri A., Saillard J.-Y., Ben Bachir A., Le Beuze A. Experimental and theoretical study of organic corrosion inhibitors on iron in acidic medium. *Corrosion Science.* 1998;41(3):501-517. DOI: 10.1016/S0010-938X(98)00133-4.
- 3.** Bentiss F., Lagrenée M., Traisnel M., Hornez J.C. Bentiss F. et al. The corrosion inhibition of mild steel in acidic media by a new triazole derivative. *Corrosion Science.* 1999;41(4):789-803. DOI: 10.1016/S0010-938X(98)00153-X.
- 4.** Mandal S., Singh J.K., Lee D.-E., Park T. Ammonium phosphate as inhibitor to mitigate the corrosion of steel rebar in chloride contaminated concrete pore solution. *Molecules.* 2020;25(17):3785. DOI: 10.3390/molecules25173785.
- 5.** Fakhretdinov P.S., Golubev I.Yu., Khamidullin R.F., Romanov G.V. New imidazolinium compounds based on oxyethylated alkylphenols – acid corrosion inhibitors. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta.* 2010;1:280-287. (In Russian). EDN: KYTEHZ.
- 6.** Cruz J., Martínez R., Genesca J., García-Ochoa E. Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazoline as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media. *Journal of Electroanalytical Chemistry.* 2004;566(1):111-121. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.11.018.
- 7.** Ismailov O.D. The investigation of corrosion causes of oilfield equipment and development of biocide-inhibitors on the basis imidazolines. *SOCAR Proceedings.* 2019;4:61-66. (In Russian). DOI: 10.5510/OGP20190400412. EDN: ISHLJZ.
- 8.** Finšgar M., Jackson J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: a review. *Corrosion Science.* 2014;86:17-41. DOI: 10.1016/j.corsci.2014.04.044.
- 9.** Goncharova O.A., Luchkin A.Yu., Kuznetsov Yu.I., Andreev N.N., Andreeva N.P., Vesely S.S. Octadecylamine, 1,2,3-benzotriazole and a mixture thereof as chamber inhibitors of steel corrosion. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition.* 2018;7(2):203-212. DOI: 10.17675/2305-6894-2018-7-2-7.
- 10.** Shatirova M.I., Avdeev Y.G., Dzhafarova U.S. Substituted propargylamines-acid corrosion inhibitors for steel in petroleum industry. *Zhurnal prikladnoi khimii.* 2021;94(8):1040-1049. EDN: VAVZEV. DOI: 10.31857/S0044461821080107.
- 11.** Ivshin Ya.V., Ugriumov O.V., Varnavskaya O.A. Corrosion inhibitors based on heterocyclic amines. 1. The effect of the molecule structure on protective properties. *Herald of Technological University.* 2015;18(2):77-80. (In Russian). EDN: TJLSUR.
- 12.** Mumrikov M.V., Tsypshev O.Yu., Sapozhnikov Yu.E., Laptev A.B., Bugay D.E. Hydrogen sulfide scavengers based on azomethine compounds. *Bashkir Chemical Journal.* 2012;19(1):195-198. (In Russian). EDN: OYEYYT.
- 13.** Kuznetsov Yu.I., Agafonkin A.V., Zel O.O. Volatile inhibitors of atmospheric corrosion of metals based on azomethines. *Korroziya: materialy, zashchita.* 2009;4:17-23. (In Russian). EDN: KXJCXR.
- 14.** Das S., Das V.K., Saikia L., Thakur A.J. Environment-friendly and solvent-free synthesis of symmetrical bis-imines under microwave irradiation. *Green Chemistry Letters and Reviews.* 2012;5(3):457-474. DOI: 10.1080/17518253.2012.667443.
- 15.** Al-Lami A.K. Preparation and mesomorphic characterization of supramolecular hydrogen-bonded dimer liquid crystals. *Polycyclic Aromatic Compounds.* 2016;36(3):197-212. DOI: 10.1080/10406638.2014.957408.
- 16.** Liang Z.-P., Li J. Synthesis and structural characterization of (2E,3E)-N¹,N²-Bis(4-chlorobenzylidene) ethane-1,2-diamine. *Asian Journal of Chemistry.* 2013;25(2):663-665. DOI: 10.14233/ajchem.2013.12108b.
- 17.** Van den Ancker T.R., Cave G.W.V., Raston C.L. Benign approaches for the synthesis of bis-imine Schiff bases. *Green Chemistry.* 2006;8(1):50-53. DOI: 10.1039/b513289d.
- 18.** Krasnoperova M.V. Study of the amines effect on the corrosion behavior of steel. *Molodoi uchenyi.* 2009;12:113-116. (In Russian). EDN: LMUXPK.
- 19.** Mehdiyeva L.A., Mammadova P.Sh., Babayev E.R. Application of Schiff bases as a corrosion inhibitors. *Bulletin of the Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The series "Natural and Technical Sciences".* 2023;3:38-48. (In Russian). DOI: 10.34824/VKNIIIRAN.2023.14.3.004. EDN: OOVTYF.
- 20.** Goncharova O.A., Andreev N.N., Mamonov V.A. The effectiveness of some volatile corrosion inhibitors in conditions of intense condensation of moisture. *Korroziya: zashchita materialov i metody issledovanii.* 2023;3:77-87. (In Russian). DOI: 10.61852/2949-3412-2023-1-3-77-87. EDN: PAZOGN.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Акимова Елизавета Сергеевна,
аспирант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
Российская Федерация,
elizaveta_a@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-4439-2440>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elisaveta S. Akimova,
Postgraduate Student.
Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064,
Russian Federation,
elizaveta_a@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-4439-2440>

Султанова Римма Марсельевна,
д.х.н., профессор, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
Российская Федерация,
✉ rimmams@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6719-2359>

Рабаев Руслан Уралович,
к.т.н., доцент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
Российская Федерация,
nauka_ugntu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8673-5240>

Борисова Юлианна Геннадьевна,
к.х.н., доцент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
Российская Федерация,
yulianna_borisova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6452-9454>

Злотский Семён Соломонович,
д.х.н., профессор, заведующий кафедрой,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
Российская Федерация,
nocturne@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6365-5010>

Вклад авторов

Е.С. Акимова – проведение исследования,
написание черновика рукописи.
Р.М. Султанова – научное руководство,
разработка методологии,
редактирование рукописи.
Р.У. Рабаев – курирование данных.
Ю.Г. Борисова – курирование данных.
С.С. Злотский – научное руководство,
курирование данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 31.05.2025.
Одобрена после рецензирования 04.10.2025.
Принята к публикации 20.10.2025.

Rimma M. Sultanova,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Professor,
Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064,
Russian Federation,
✉ rimmams@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6719-2359>

Ruslan U. Rabaev,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064,
Russian Federation,
nauka_ugntu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8673-5240>

Yulianna G. Borisova,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064,
Russian Federation,
yulianna_borisova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6452-9454>

Semen S. Zlotskii,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Head of the Department,
Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064,
Russian Federation,
nocturne@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6365-5010>

Contribution of the authors

Elisaveta S. Akimova – investigation,
writing – original draft.
Rimma M. Sultanova – supervision,
methodology, editing.
Ruslan U. Rabaev – data curation.
Yulianna G. Borisova – data curation.
Semen S. Zlotsky – supervision,
data curation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

*The article was submitted 31.05.2025.
Approved after reviewing 04.10.2025.
Accepted for publication 20.10.2025.*