УДК 547.541.2. DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.018

АЛКИЛИРОВАНИЕ МОРФОЛИНА, ПИПЕРИДИНА, ДИЭТИЛАМИНА И БЕНЗИЛАМИНА ОКСИПРОПИЛЕНОМ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

© Мамедбейли Эльдар Гусейнгулу оглу (a)

(a) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования

Аннотация. Осуществлен синтез новых аминоспиртов на основе реакции соответствующих аминов с окисью пропилена экологически чистыми методами в водной среде. В качестве базовых реагентов взяты вторичные (диэтиламин, пиперидин, морфолин), первичные амины (бензиламин), а в качестве эпоксидных соединений использован пропиленоксид. Определены оптимальные условия для синтеза целевых продуктов. Строение полученных соединений подтверждено данными элементного анализа, методами ИК и ЯМР ^{1}H, ^{13}C спектроскопии, а также масс-спектрометрии. Выходы продуктов достигнуты в пределах 60-98%. Полученные соединения были испытаны в качестве препаратов, подавляющих рост сульфат-редуцирующих бактерий. Установлено, что эти соединения обладают более высокой степенью подавления роста СРБ при различных концентрациях, чем взятый эталон (*Dodigen*-414). Синтезированные соединения были также испытаны в качестве ингибиторов коррозии стали. Установлено, что эти соединения проявляют более лучшие антикоррозионные свойства, чем известный аналог. Таким образом, в представленной работе экологически чистыми методами синтезированы новые представители аминопроизводных пропан-2-олов, обладающих достаточно высокими антибактериальными и антикоррозионными свойствами.

***Ключевые слова*:** оксид пропилена, вторичные амины, бензиламин, экологически чистый метод, антибактериальные свойства, антикоррозионные свойства.

.

ALKYLATION OF MORPHOLINE, PIPERIDINE, DIETHYLAMINE AND BENZYLAMINE WITH OXYPROPYLENE IN AQUEOUS MEDIUM

© Mammadbayli Eldar Huseynqulu (a)

(a) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education

Abstract. New amino alcohols were synthesized based on the reaction of the corresponding amines with propylene oxide using environmentally friendly methods in an aqueous medium. Secondary (diethylamine, piperidine, morpholine) and primary amines (benzylamine) were used as basic reagents, and propylene oxide was used as epoxy compounds. Optimum conditions for the synthesis of the target products were determined. The structure of the obtained compounds was confirmed by elemental analysis, IR and NMR 1H, 13C spectroscopy, and mass spectrometry. The

yields of the products were achieved within 60-98%. The obtained compounds were tested as preparations that suppress the growth of sulfate-reducing bacteria. It was found that these compounds have a higher degree of suppression of SRB growth at various concentrations than the standard (Dodigen-414). The synthesized compounds were also tested as steel corrosion inhibitors. It has been established that these compounds exhibit better anticorrosive properties than the known analogue. Thus, in the presented work, new representatives of amino derivatives of propan-2-ols with sufficiently high antibacterial and anticorrosive properties have been synthesized by environmentally friendly methods.

Key words: propylene oxide, secondary amines, benzylamine, environmentally friendly method, antibacterial properties, anticorrosive properties.

.

Амины и аминоспирты занимают прочное место в ряду наиболее значимых классов органических соединений, нашедших широкое и разнообразное применение как в тонком органическом синтезе, так и в промышленности [1, 2], при получении интермедиатов чистых химических веществ и строительных блоков в синтезе лекарственных препаратов и агрохимикатов [3]. Благодаря специфическим химическим и биологическим свойствам, амины играют важную роль в химиотерапевтическом подходе к ряду заболеваний. В связи с этим разработка новых методов синтеза этих соединений находится в центре внимания многих исследовательских групп на протяжении многих лет [4].

Из литературных источников известно, что амины, аминоспирты применяются как высокоэффективные реагенты для подавления роста сульфатвосстанавливающих бактерий [5] и ингибиторы коррозии [5, 6].

Серьезной проблемой, стоящей перед человечеством в XXI веке, является проблема охраны окружающей среды. Одним из подходов к решению многих экологических проблем является проведение органических реакций в среде наиболее широко изучаемых экологически чистых растворителей, таких как ионные жидкости [7], сверхкритический CO_2 [8] и вода [9]. Ключевым понятием зеленой химии является вода - один из наиболее распространенных природных и нетоксичных растворителей на земле; она традиционно рассматривается как своеобразный источник в большинстве химических производствах. Арсеналы, созданные «зеленой» химией постоянно растут.

Алкоксилированные жирные амины распространены в самых разных продуктах, используемых в бытовых товарах, а также в промышленности [10]. Производство таких аминов осуществляется партиями и деинтенсифицируется из-за высокой экзотермичности и автокаталитического характера реакции. Однако процесс производства устарел и может быть улучшен путем перехода к непрерывному потоку. При исследовании реакции этиленоксида необходимо принимать серьезные меры безопасности из-за его воспламеняемости и токсичности.

Алкоксилирование, в частности этокси- и пропоксилирование жирных аминов являются важными промышленными реакциями, обычно осуществляемыми в реакторах полупериодического действия с пониженной интенсивностью [11]. В этой работе показана интенсификация этих реакций путем перевода процесса в режим непрерывной обработки. Поэтому пропоксилирование октиламина, как модельной системы, было осуществлено в реакторе периодического действия и в микротрубчатом реакторе.

В работе [12] ониламин, октадециламин и аминоамид карбоновой кислоты фракции льняного масла были пропоксилированы с использованием пропиленоксида, а структура и состав полученных пропоксилатов подтверждены ИК-спектроскопией. Тензиометрические измерения позволили выявить высокую поверхностную активность этих пропоксилатов. В результате лабораторных испытаний с использованием тонких пленок сырой нефти на поверхности дистиллированной, пресной и морской воды была Рамановской спектроскопией определена хорошая нефтесобирающая способность синтезированных реагентов.

Показано [13], что оксид пропилена реагирует с ДНК в водном буферном растворе при приблизительно нейтральном *pH* с образованием двух основных продуктов, идентифицированных как 7-(2-гидроксипропил)гуанин и 3-(2-гидроксипропил)аденин, которые гидролизуются из алкилированной ДНК при нейтральных значениях *pH* при 37°C. Эти продукты были получены в большом количестве в результате реакций между оксидом пропилена и гуанидином или аденином соответственно.

Сообщается [14], что алкоксилированные жирные амины широко используются в качестве неионных поверхностно-активных веществ, что приводит к устойчивому росту промышленного спроса за последние шесть десятилетий. Эти соединения являются ключевыми компонентами в продуктах многочисленных отраслей промышленности, например, бурение нефтяных скважин, производство бумаги, текстильная промышленность, а также производство волокон, красок, красителей и пластмасс. Эти соединения обычно производятся путем реакции жирных аминов с этиленоксидом или пропиленоксидом в больших реакторах периодического действия, часто достигающих размера 30 м^3.

Механизм автокаталитического алкоксилирования жирных аминов был выяснен с использованием комбинированного экспериментального и теоретического подхода [15]. Кинетические параметры элементарных стадий реакции подгоняются под экспериментальные данные, полученные в полунепрерывном режиме для оксидов пропилена и бутилена с додециламином. Было проведено исследование чувствительности качества подгонки для оценки надежности и точности модели. В этой работе авторы определили кинетические параметры, которые либо имеют решающее значение для хорошего соответствия, либо контролируют скорость с точки зрения общей кинетики. Было обнаружено, что критическими стадиями являются активация эпоксидного кольца гидроксильной группой, присутствующей либо на промежуточном, либо на конечном продукте, что подчеркивает автокаталитическую природу реакции. Кроме того, авторы ввели так называемую степень контроля конверсии, чтобы охарактеризовать важность каждой элементарной стадии реакции для конверсии эпоксида. Степень контроля конверсии показала, что некатализируемый путь к вторичному амину оказывает влияние только при низкой конверсии. При более высокой конверсии доминирует путь через каталитический промежуточный продукт. Были также исследованы альтернативные механизмы, но они не привели к существенному улучшению качества подгонки и поэтому были отвергнуты.

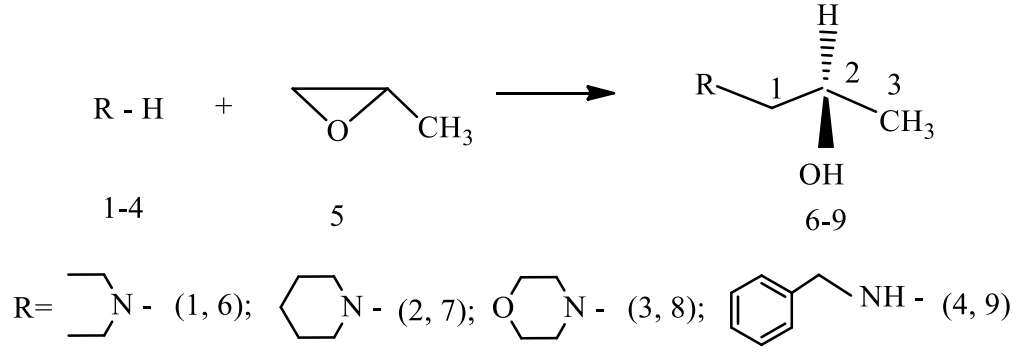
В патентной работе [16] описан некаталитический способ взаимодействия полиоксиалкиленаминов с алкиленоксидами в присутствии 5–15 мас.% воды. С помощью этого способа добавление оксидов может быть выполнено быстро и при удивительно

низкой температуре от 75 до 85°С. Доля третичного амина в полученном продукте составляет от 90 до 100%, что указывает на практически полное алкоксилирование. Этот способ особенно подходит для пропоксилирования, которое трудно достичь обычными способами.

Результаты и обсуждении

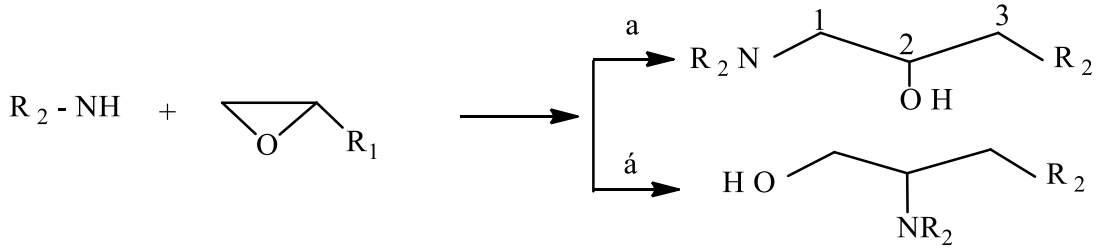
В настоящей работе описывается региоселективное получение *β*-аминоспиртов раскрытием эпоксидного кольца в мягких условиях в водной среде. В качестве базовых реагентов взяты вторичные амины: диэтиламин (**1**), пиперидин (**2**), морфолин (**3**) и бензиламин (**4**), а в качестве реагента эпоксидных соединений – пропиленоксид (**5**), которые взаимодействуют по схеме 1. Взаимодействие пропиленоксида (**5**) с диэтиламином (**1**) проводили при перемешивании смеси реагентов в воде, при нагревании 50°С в течение 9 ч. Оптимальными соотношениями исходных компонентов в этом случае являются диэтиламин:пропиленоксид = 1:1.1. При реакции диэтиламина с пропиленоксидом образуется вторичный аминоспирт (**6**), выход которого составляет 80%. В отличие от предыдущей реакции, оптимальным соотношением компонентов между аминами **2-4** и пропиленоксидом (**5)** являлись 1:1.1, при температуре 90^0 (напротив 50^0) в течение 9 ч. Выходы продуктов достигнуты в пределах 60-98%.

Схема 1.



Ранее аминоспирты были получены в среде органических растворителей в присутствии катализаторов – солей, трифлатов металлов, комплексонов и др. Эпоксисоединения имеют важное значение вследствие их высокой реакционной активности, которая обусловлена легкостью раскрытия очень напряженного трехчленного цикла. Углы связей кольца, равные в среднем 60° (1.047 рад), намного меньше угла нормального тетраэдрического атома 109.5° (1.907 рад). Поскольку атомы не могут располагаться так, чтобы обеспечить максимальное перекрывание орбиталей, связи в эпоксисоединении менее прочны, и молекула менее устойчива. Эпоксиды очень легко вступают в реакции катализируемые основаниями. В этом случае нуклеофильной атаке подвергается сама эпокись.

Схема 2.



Аммонолиз эпоксидов может протекать региоселективно в соответствии (а) или (б) против правила Красуцкого [17].

В ^{1}Н ЯМР спектре соединения (**6**) значение δ протона CHO (C^2) группы находится в интервале δ 2.7 м.д., то есть происходит смещение сигнала в слабое поле. Это свидетельствует о том, что ОН группа расположена у атома углерода C^2. Сигналы протонов метильной группы у атома C^1 также смещаются в области более слабого поля под действием электроотрицательного атома кислорода, находящегося у соседнего атома (C^2) (δ 1.35 м.д.), сигналы протонов СН и CH_2 группы соединений (4) также смещены в более слабое поле под действием ОН группы у атома C^2. В пользу данного строения также свидетельствует хорошая корреляция литературных данных и полученных данных [18]. Хроматографический анализ показал наличие только одного *регио*-изомера для полученных соединений.

Таким образом, раскрытие эпоксидных фрагментов аминами (**1–4**) идет в соответствии с правилом Красуцкого по пути (а) с образованием производных вторичных спиртов.

Исходные амины (**1-4**) хорошо или частично растворимы в воде, при этом возможно образование соответствующих гидроокисей $[R_2NH_2]^+OH^-$. Полагаем, что образовавшиеся гидроокиси могут осуществлять катализ раскрытия оксиранов в водной среде. Под действием указанных катализаторов раскрытие эпоксидного кольца окиси пропилена идет по известной схеме [19] по механизму S_{N2} с образованием аминопроизводных *изо*-пропанола.

Чистота полученных соединений и реакционных смесей контролировалась методом ГЖХ, их строение установлено на основании данных элементного анализа, ИК-, ЯМР ^{1}Н и ^{13}С спектроскопии.

В ИК спектре *N*-диэтиламинопропан-2-ола, (**6**) наблюдаются сигналы в области 2970 см$^{-1}$, а также полосы поглощения при 1461 см$^{-1}$ и 1387 см$^{-1}$, которые могут быть отнесены к ν CH_3, ν CH_2 и СН группам. По данным спектра видно, что валентные колебания спиртовой группы проявляются в виде широкой полосы в области 3600–3200 см$^{-1}$, обусловленной колебаниями ОН- группы, участвующей в образовании водородной связи.

^{1}Н ЯМР спектр (**6**) содержит триплет (6Н, $2CH_3$) метильной группы с химическими сдвигами δ 0.98 м.д., сигналы неэквивалентных протонов группы (-CH_2N-) и (4Н, -N-CH_2,) имеют вид сложных мультиплетов с химическими сдвигами δ 2.17 м.д., и δ 1.96–2.0 м.д., соответственно. А остальные группы имеют следующие виды и сигналы: мультиплет (1Н, С-Н), и широкий синглет (1Н, С-ОН) группы с хим.сдвигом δ 3.6 м.д. и 3.75 м.д., а также дуплет протонов (3Н, $OCHCH_3$) метильной группы с химическим сдвигом δ 1.0 м.д.

В ^{13}С ЯМР спектрах сигналы двух метильных радикалов диэтиламинового фрагмента лежат в сильном поле с химическими сдвигами при δ_C 20.0 и 20.3 м.д., а метильные группы при спиртовом компоненте наблюдаются с химическими сдвигами при δ_C 21.4 м.д., а при этом химические сдвиги группы атома углерода (-NCH_2) наблюдаются при δ_C 49.5 м.д. Сигналы, соответствующие атому углерода δ_C ОН наблюдаются при δ_C 55.8 м.д.

В ИК спектре 3-пиперидинопропан-2-ола (**7**) присутствует интенсивная полоса поглощения в области ν 1110 см$^{-1}$, что связано с колебанием (С-О) группы. Наличие полосы поглощения в спектрах при ν 1276 и 850 см$^{-1}$ следует отнести к колебаниям С-N группы. Валентные и деформационные колебания для CH_3 группы наблюдаются при ν 2934, 1442 и

1375 см$^{-1}$. Отсутствие в спектре полосы поглощения в области 3050 см$^{-1}$ свидетельствует о том, что в соединении нет оксиранового кольца. Вместо узкой сильной полосы при ν 3600 см$^{-1}$, характерной для свободной гидроксильной группы ОН появляется широкая интенсивная полоса в интервале 3600-3200 см$^{-1}$, подтверждающая образование водородной связи в образцах.

В спектре ЯМР ^{1}Н соединения (**7**)-продукте N -алкилирования пиперидина имеются сигналы с химсдвигом δ 1.35 м.д. в виде дублета 3Н, CH_3, относящиеся к протонам метильной группы. О наличии пиперидинового кольца можно судить по появлению сигналов в виде мультиплета с химическими сдвигами δ 1.5–1.6 м.д., характерные для шести протонов метиленовых групп пиперидинового кольца (6Н, $3CH_{2цикл.пипер.}$). Протоны метиленовых групп при атоме азота в пиперидиновом кольце и алифатической цепи размещены в области δ 2.4–2.5 м.д., (6Н, $3CH_2N_{цикл.пипер.}$) и ($NCH_{2алиф.}$). Широкий синглет сигнала с химическим сдвигом δ2.7 м.д. и мультиплет сигнала с химическим сдвигом δ3.7 м.д., также подтверждают присутствие в молекуле наблюдаемых (1Н, ОН, 1Н, ОСН) групп.

Анализ спектров ЯМР ^{13}С соединения (**6**) также подтверждает предполагаемую структуру. Значение химических сдвигов δ углеродных ядер групп CH_3 лежит в области 24.0 м.д. Значение химических сдвигов углеродных ядер ($C_{пипкольцо.}$) и (NCH_2) соответственно составляют 24.5, 24.7, 26.6 и 54.1 м.д. В спектре наблюдается также характерный сигнал углеродного ядра (С–ОН) в области 56.8 м.д.

Анализ ИК спектра 3-морфолинопропан-2-ола (**6**) подтверждает приписываемую ему структуру. Анализ спектра позволяет сделать следующие заключения. Полосы поглощения при ν 1296 см$^{-1}$ и 866 см$^{-1}$ обусловлены наличием в соединении N-C группы. Валентные и деформационные колебания для CH_3 группы наблюдаются при ν 2934, 1442 и 1375 см$^{-1}$. Отсутствие в спектре полосы поглощения в области 3050 см$^{-1}$ свидетельствует о том, что в соединении нет оксиранового кольца. Вместо узкой полосы при ν 3600 см$^{-1}$ свободной гидроксильной группы, появляется широкая интенсивная полоса в интервале 3600–3200 см$^{-1}$, обусловленная образованием водородной связи.

В ЯМР ^{1}Н спектре *N*-морфолинопропан-2-ола (**8**) сигнал в области δ 1.38 м.д. принадлежит протонам метильной группы (3Н, CH_3) алифатической цепи и представляет собой дублет, т.е. соседней группой является метиновая группа. Сигналы протонов групп (4Н, $CH_2N_{морф.}$), (1Н, С–СН–С), (1Н, С–ОН), с химическими сдвигами в области δ2.35-2.45 м.д. проявляются в виде мультиплета. Сигналы протонов групп (4Н, OCH_2), (2Н, $NCH_{2алиф.}$) обнаруживаются с химическими сдвигами в области более слабого поля (под действием электроотрицательного атома кислорода и азота, находящегося у соседнего атома) δ3.54 – 3.75 м.д. в виде мультиплета.

В спектре ЯМР ^{13}С соединения (**8**) типичен и подтверждает его структуру. Атомы углерода метильной группы, обладающего не кислыми свойствами (с большой плотностью электронной оболочки), резонируют в сильном поле. Очевидно им соответствует синглет при δ_C 22.3 м.д. Сигналы углеродных ядер в областях δ_C 53.0, 56.0 и 56.6 м.д., относятся к фрагментам ($CH_2N_{морф}$), (–$NCH_{2–}$), (–С–ОН) соответственно. Сигнал, проявляющийся в области δ_C 60.9 м.д. в спектре относится к группам (О–CH_2) морфолинового фрагмента

Из ИК спектра *N*-бензиламинопропан-2-ола (**9**) следует, что наличие полосы поглощения в области ν 1620 см$^{-1}$ может свидетельствовать об отсутствии первичной аминогруппы в составе исследуемого соединения. Как и в случае всех нормальных

углеводородов, в спектре соединения (**9**) проявляется ряд полос поглощения в интервале 3100-2900 $см^{-1}$, которые связаны с валентными колебаниями связей (CH) в группах CH_3, CH_2 и CH. В данном спектре появление полосы поглощения при ν 3028, 2953 $см^{-1}$ указывает на присутствие в молекуле (C–H–) групп, связанных с ароматическим кольцом. Наличие полосы поглощения при 1496-1580 $см^{-1}$, характерные для (ν C=C) связей убедительно доказывает структуру бензольного кольца. Полосы поглощения при 1110 $см^{-1}$ могут быть обусловлены валентным колебанием связи (C–O). Полосы поглощения при 1245 и 1040 $см^{-1}$ указывают на наличие третичного атома азота N–C в аминоспиртах.

В спектре ЯМР ^{1}H *N*-бензиламинопропан-2-ола (**9**) сигнал в слабом поле при δ1.0 м.д., относится к протонам метильного радикала (3H, CH_3) в спиртовом фрагменте. Проявление сигнала в виде дублета подтверждает, что соседняя группа является метиновой (1H, CH). Сигнал с химическими сдвигами δ 2.3–2.45 м.д. представляет собой септет и относится к протону метиновой группы (1H, OCH) с которой по соседству находятся метильная и метиленовая группы (CH_3 и CH_2).

Сигнал с химическим сдвигом при δ 3.5 м.д. в виде узкого синглета относится к протону группы (1H, CNH). Сигнал с химическим сдвигом при δ 3.6 м.д. в виде узкого синглета принадлежит двум протонам бензильной группы (Ph–CH_2). Протон OH группы проявляется в области.3.7 м.д. в виде уширенного синглета. Сигналы с химическими сдвигами в области δ 7.05–7.2 м.д. в виде мультиплета относятся к протонам ароматического ядра (5H, C_6H_5).

Данные ЯМР ^{13}C спектра продукта *N*-алкилирования (**9**) соответствуют строению ароматических аминоспиртов. В спиртовой части спектра присутствуют три сигнала. Первый из них в сильном поле с хим сдвигом с δ_C 22.2 м.д. относится к терминальным метильным углеродам, второй синглет с химическим сдвигом δ_C 53.3 м.д. соответствует (NH–C аминометиленовым) группам. Сигналы при δ_C 56.6 м.д. можно отнести к группе (C-OH). Синглетные сигналы бензильного углерода (Ph-CH_2) проявляются при δ_C 65.5 м.д., а углероды бензольных колец в области δ_C 126, 127 и 140 м.д. соответственно.

Полученные соединения **6–9** были испытаны в качестве препаратов, подавляющих рост сульфатвосстанавливающих бактерий. Оценку бактерицидного действия реагентов проводили по методике [19] на образце, выделенном из пластовых вод месторождения «Нефт Дашлары». Содержание сульфатвосстанавливающих бактерий в исследуемой среде составило 10^{-6}–10^{-4} кл/мл.

Результаты испытания синтезированных соединений на биоцидную способность приведены в таб. 1. Бактерицидные свойства испытываемых соединений по отношению к сульфатвосстанавливающим бактериям приведены в сравнении с промышленно используемым немецким продуктом (*Dodigen*-414). Как видно из табл.1, соединения (**6-9**) обладают более высокой степенью подавления роста при различных концентрациях, чем взятый эталон. Наиболее высокими бактерицидными свойствами соединение (**3**) обладает при концентрации 25 мг/л. С понижением концентрации до 20 мг/л их эффективность резко падает. Таким образом, соединения можно рекомендовать в качестве бактерицидных препаратов для комплексной защиты оборудования нефтяных скважин от коррозии.

Таблица 1

Степень подавления роста СВБ аминоспиртами 1–4

Соединение	Степень подавления роста СВБ (%) при концентрации реагента (мг/л)					
	10	20	25	30	35	40
1	50	75	100	100	100	100
2	45	60	100	100	100	100
3	50	70	100	100	100	100
4	15	35	80	80	100	100
Dodigen-41 (Германия) (стандарт)	15	35	80	80	100	100

Таблица 2

Влияние *N*-алкиламинов на скорость коррозии стали Ст3

Соединение	Концентрация, мг/л	Минерализированная вода + H_2S/углеводороды = 9:1			
		Скорость коррозии стали, $г·м^{-2}·ч^{-1}$	Степень зашиты стали, Z, %	Коэффициент торможения, γ	Скорость коррозии без ингибитора, $г·м^{-2}·ч^{-2}$
7	10	0.87	42.0	1.72	1.5
	25	0.29	80.6	5.17	1.5
	50	0.24	84.0	6.25	1.5
	100	0.13	91.3	11.5	1.5
8	10	0.89	40.6	1.68	1.5
	25	0.30	80.8	5.0	1.5
	50	0.25	83.3	6.0	1.5
	100	0.11	92.6	13.6	1.5
1-Метил-3-этил-5-(*N*-пиперидино)-бензол(эталон)	250	0.91	57	–	2.12
	500	0.3	70	–	2.12

Соединения (**7**, **8**) были также испытаны в качестве препаратов против коррозии стали. Скорость коррозии оценивали гравиметрическим методом по убыли массы образцов. Эффективность действия синтезированных соединений определяли по значениям коэффициентов торможения γ и степени защиты Z стали Ст3. Результаты исследований антикоррозионных свойств соединений **7**и **8** приведены в табл. 2.

Антикоррозионные свойства испытываемых соединений исследованы в сравнении с 1-метил-3-этил-5-(*N*-пиперидино)-бензолом, применяемым на практике. Как видно из табл. 2, соединения **7** и **8** проявляют лучшие антикоррозионные свойства, чем известный аналог.

Таким образом, региоселективное раскрытые эпоксидных фрагментов в присутствии воды является удобным способом *N*-алкилирования аминов и протекает в соответствии с правилом Красуцкого с образованием аминопроизводных вторичных спиртов, которые обладают достаточно высокими антибактериальными и антикоррозионными свойствами

эти аминоспирты можно легко превратить в соответствующие аминоацетаты и другие функциональные производные которые являются потенциальными антиритмическими, адренергическими агентами и агентами с ретардантной активностью.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры синтезированных соединений были получены на приборах марок "*Spektrum BX*" и "*ALPHA IR FURYE*" фирмы "*Bruker*" (Германия) в диапазоне 4000–400 $см^{-1}$. Протонные ЯМР спектры (ЯМР ^1H) записаны на приборе "*Bruker*" AM-300 (Германия) с рабочей частотой 300 МГц в растворителе C_6D_6 с использованием *HMDS* в качестве внутреннего стандарта. Масс-спектры зарегистрированы на масс-спектрометре марки 4G-7070 (энергия ионизации – 70 эВ). Чистота полученных соединений определялась на основании температуры кипения, элементного анализа и методом ГЖХ. Элементный анализ проводился на приборе модели "*CARLO ERBA*" EA (Италия). ГЖХ-анализ выполнялся на хроматографе марки ЛХМ-8 МД (Россия) с использованием стальной колонки размером 300×3 мм, заполненной динохромом с 5%-ным содержанием ПЭГС, в качестве газоносителя использовался гелий (40 $см^3$/мин), детектор – катарометр, температура колонки – 150°C, испарителя – 230°C.

В качестве исходных соединений были использованы: реактивная окись пропилена (**5**), вторичные амины: диэтиламин (**1**), пиперидин (**2**), морфолин (**3**), а также первичный амин (бензиламин) (**4**), которые доставлены коммерческим методом. Амины (ХЧ) перед использованиям перегоняли.

3-(Диэтиламино)пропан-2-ол (6). К раствору 10 г (136.9 ммоль) диэтиламина в 7 мл воды добавляли 6.4 г (110 ммоль) пропиленоксида и перемешивали при температуре 50°C в течение 9 ч. Смесь насыщали 10 г сухого NaOH. Органический слой отделяли, водный слой экстрагировали эфиром. Органические слои объединяли, сушили. После отгонки растворителя остаток перегоняли в вакууме, выход 11.5 г (80%), т.кип. 64–65°C (15 мм рт.ст.), n_D^{20} 1.4210, ρ_4^{20}0.8865 г/$см^3$. ИК спектр, *ν*, $см^{-1}$: 765 (математические колебание C–H, CH_2), 1225, 1295 (CN), 1343, 1375, 2868, 2950 (*δ*, CH, CH_2, CH_3), 3600–3200 (OH). Спектр ЯМР ^1H, δ, м.д.: 0.98 т (6CH, 2CH_3, *J* 7.2 Гц), 1.2 д.д (3H, OCH–CH_3), 1.96-2.0 м (4H, CH_2NCH_2), 2.18 т (-2H, -CH_2N-), 3.6 м (1H, CH), 3.75 с (1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д.; 24, 24.5, 26.6, 54.1, 56.8. Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн.}$, %): 132 (10) [*M*+H]$^+$, 131(49) [*M*]$^+$, 113 (13) [*M*-H_2O]$^+$, 100 (18) [*M*-OH-CH_2]$^+$, 87 (100), 76 (15). Найдено, %: C 64.03, 64.07; H 16.82, 16. 09; N 13.75, 14.08. $C_7H_{17}NO$. Вычислено, %: C 64.13; H 17.00; N 14.01. *M* 131.06.

3-(Пиперидино)пропан-2-ол (7). К раствору 9.35 г (119 ммоль) пиперидина в 3.5 мл воды добавляли 5.8 г (100 ммоль) пропиленоксида и перемешивали при температуре 90°C в течение 9 ч. Смесь насыщали 10 г сухого NaOH. Органический слой отделяли. Водный слой экстрагировали эфиром. Органические слои объединяли, сушили. После отгонки растворителя остаток перегоняли в вакууме, выход 13.7 г (96%), т.кип. 75-76°C (20 мм рт.ст.), n_D^{20} 1.4775, ρ_4^{20}0.9134 г/$см^3$, ИК спектр, *ν*, $см^{-1}$: 850, 1276 (CN), 1110 (C–O), 2934, 1442, 1375 (CH_3), 3600 (OH), 3600-3200 $см^{-1}$ (водородная связь). Спектр ЯМР ^1H, *δ*, м.д.: 1.35 д (3H, CH_3, *J* 7.3 Гц), 1.5-1.6 м (6H, 3$CH_{2цикл.пипер}$), 2.4-2.5 м ($NCH_{2алиф.}$), 2.7 с (1H, OH), 3.7 (1H, OCH). Спектр ^{13}C, *δ*, м.д.: 24.0, (CH_3), 24.5, 24.7, 26.6, 54.1, 56.8 (C–OH). Масс-спектр, *m/z* ($I_{отн.}$, %): 144 (10) [*M*+H]$^+$, 143 (8) [*M*]$^+$, 125 (20) [*M*-H_2O]$^+$, 107 (15) [*M*-H_2O-CH_2]$^+$, 70

(100) $[C_4H_8N]^+$, 59 (60) $[C_3H_7O]^+$. Найдено, %: C 67.08, 67.18; H 11.9, 10.98; N 9.69, 9.68. $C_8H_{17}NO$. Вычислено, %: C 67.18; H 11.88; N 9.78. *M* 143.07.

3-(Морфолин)пропан-2-ол (8) получен аналогично из 9.57 г (110 ммоль) морфолина в 3.5 мл воды и 5.8 г (100 ммоль) оксипропилена. Выход 14.2 г (98%), т.кип. 70-71°C, 3 мм рт.ст., n_D^{20} 1.4590, ρ_4^{20} 0.9452 г/см^3, ИК спектр, *ν*, см$^{-1}$: 866, 1296 (N-C), 2934, 1442, 1375; (валентные и деформационные колебания для CH_3 группы), 1232, 1016, 902, 864 (C-H, CH_2 математические колебания), 3600-3200 см$^{-1}$ (водородная связь). ЯМР ^{1}H, спектр, *δ*, м.д.: 1.38 д.д (3H, CH_3, *J* 7.2 Гц), 2.35–2.45 м. [(4H, $CH_2N_{цикл.}$), (1H, C-CH-C-), (1H, C-OH)], 3.54–3.75 м. (4H, $OCH_{2цикл.}$), (2H, $NCH_{2алифат.}$, *J* 1.2, 2.2 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д.: 22.3 (CH_3), 53.0 ($CH_2N_{морф.}$), 56 (CH_2-NH-CH_2), 56.6 (-C-OH), 69.9 (O-CH_2). Масс-спектр, *m/z* (*I*$_{отн.}$, %): 146 (9) $[M+H]^+$, 145 (20) $[M]^+$, 127 (15), $[M-H_2O]^+$, 113 (17) $[M-H_2O-CH_2]^+$, 104 (100) $[M-C_3H_7]^+$, 60 (17) $[M-C_{10}H_{19}O]^+$, 50 (15). Найдено, %: C 56.96, 57.02; H 10.14, 1.89; N 9.55, 8.92. $C_7H_{15}O_2N$. Вычислено, %: C 57.96; H 10.34; N 9.65. *M 145.05.*

4-(Бензиламин)пропан-2-ол (9). Получен аналогично из 11.4 г (110 ммоль) бензиламина в 3.5 мл воды и 5.8 г (100 ммоль) оксипропилена. Выход 9.9 г (60%), т.кип. 126-127°C, 2 мм рт.ст., n_D^{20} 1.5270, ρ_4^{20} 0.9081 г/см^3, ИК спектр, ν, см$^{-1}$: 3100–2900 (CH_3), 2840 (CH_2) 1580–1496 (C=C), 1227 (C-N), 1100 (C-N), Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м.д.: 1.0 д (6H, CH_3), 1.4 к (2H, CH_2), 1.7 сер. (1H, CH), 2.7 т (2H, NCH_2), 3.6 с (2H, Ph-CH_2), 7.2–7.5 т (5H, $H_{аром.}$) Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м.д.: 17.7 (CH_3), 22.1 (CH_3) 22.6 (CH_2), 537 (NH-C), 56.6 (C-OH), 65.5 ($PhCH_2$) 126.82, 128.12, 128.37, 128, 89 ($C_{аром.}$). Масс-спектр, *m/z* (*I*$_{отн.}$, %): 166 (10) $[M+H]^+$, 165 (18) $[M]^+$, 147 (13) $[M-H_2O]^+$, 134 (27) $[M-HO-CH_2]^+$, 107 (12) $[M-C_3H_6O]^+$, 100/100 $[C_5H_{10}NO]^+$, 91 (78) $PhCH_2$. Найдено, %: C 72.67, 71.97; H 9.15, 9.11; N 8.54, 9.00. $C_{10}H_{15}ON$. Вычислено, %: C 72.75; H 9.08; N 8.48. *M* 165.09

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят своих коллег (за помощь в проведении экспериментов), сотрудников аналитической лаборатории (за исследование физико-химических свойств синтезированных соединений), а также особо благодарят рецензентов и редакцию (за помощь в редактировании и опубликовании статьи).

ЛИТЕРАТУРА

1. Aliyeva L.I., Najafli A.R., Ayyubov I.H., Abdullayeva L.E. Processes of Petrochemistry and oil refining, 2024, 25, 755.
2. Chiappe C., Pieraccini D. Green chemistry. 2003, 5, 193.
3. Meier G., Ligneau X., Pertz H.H., Ganellin C.R., Schwartz J.C., Schunack W., Stark H. Bioorganic medicinal chemistry. 2002, 10, 2535.
4. Mammadbayli E.H., Jafarov I.A., Iskandarova K.O., Kahramanova S.N. Processes of Petrochemistry and oil refining. 2023, 24, 722.
5. Пугенова Л.Н., Шитова Г.С., Курбанова И.И., Альфонсов В.А., Коновалов А.И., Химия и технология растительных масел. Казань, 2002, 80.
6. Salvatore R.N., Nagle A.S., Kyung W.J. J.Org.Chem. 2002, 67, 674.
7. Mammadbayli E.H., Babayeva V.H., Aghamaliyeva D.B. Processes of Petrochemistry and oil refining. 2025, 26, 144.

8. Seayad M.A., Ahmed M., Klein H., Jackstell R., Cross T., Science. 2002, 297, 1676.
9. Morzaro G., Guiotto A., Chilin A. Green. Chem. 2009, 11, 774.
10. van Bennecom J.H. Eindhoven University of Technology, Master degree thesis. 2018, 41.
11. Muller P., Aguirre A., Ljungdahl Th., Schaaf J. Journal of Advanced Manufacturing and Processing, 2020, 2, 36.
12. Asadov Z.H., Zarbaliyeva I.A., Zargarova S.H. Chemical Problems, 2017, 1, 44.
13. Lawley P.D., Jarman M. Biochem. J. 1972, 126, 893.
14. Muller P., Winkenwerder W., Schaaf J. AIChE Annual Meeting. 2019, 32.
15. Muller P., Eeten K., Winkenwerder W., Filot I. International Journal of Chemical Kinetic. 2020, 52, 861.
16. Pat. 4479010A. US. Procedure for the alkoxylation of polyoxyalkyleneamines / Cuscunda M., Krause W
17. Azizi N., Saidi M.R. Org. Lett. 2005, 18;7 3649.
18. Chao-Jun Li., Barry M.Trost. Proc. Natl. Acad Sci USA. 2008, 105, 13197.
19. Talybov A., Mamedbeyli E., Abbasov V., Abdullayev Y. and Kochetkov K. Green and Sustainable Chemistry. 2013, 3, 31.

REFERENCES

1. Aliyeva L.I., Najafli A.R., Ayyubov I.H., Abdullayeva L.E. Processes of Petrochemistry and oil refining, 2024, 25, 755.
2. Chiappe C., Pieraccini D. Green chemistry. 2003, 5, 193.
3. Meier G., Ligneau X., Pertz H.H., Ganellin C.R., Schwartz J.C., Schunack W., Stark H. Bioorganic medicinal chemistry. 2002, 10, 2535.
4. Mammadbayli E.H., Jafarov I.A., Iskandarova K.O., Kahramanova S.N. Processes of Petrochemistry and oil refining. 2023, 24, 722.
5. Пугенова Л.Н., Шитова Г.С., Курбанова И.И., Альфонсов В.А., Коновалов А.И., Химия и технология растительных масел. Казань, 2002, 80.
6. Salvatore R.N., Nagle A.S., Kyung W.J. J.Org.Chem. 2002, 67, 674.
7. Mammadbayli E.H., Babayeva V.H., Aghamaliyeva D.B. Processes of Petrochemistry and oil refining. 2025, 26, 144.
8. Seayad M.A., Ahmed M., Klein H., Jackstell R., Cross T., Science. 2002, 297, 1676.
9. Morzaro G., Guiotto A., Chilin A. Green. Chem. 2009, 11, 774.
10. van Bennecom J.H. Eindhoven University of Technology, Master degree thesis. 2018, 41.
11. Muller P., Aguirre A., Ljungdahl Th., Schaaf J. Journal of Advanced Manufacturing and Processing, 2020, 2, 36.
12. Asadov Z.H., Zarbaliyeva I.A., Zargarova S.H. Chemical Problems, 2017, 1, 44.
13. Lawley P.D., Jarman M. Biochem. J. 1972, 126, 893.
14. Muller P., Winkenwerder W., Schaaf J. AIChE Annual Meeting. 2019, 32.
15. Muller P., Eeten K., Winkenwerder W., Filot I. International Journal of Chemical Kinetic. 2020, 52, 861.
16. Pat. 4479010A. US. Procedure for the alkoxylation of polyoxyalkyleneamines / Cuscunda M., Krause W
17. Azizi N., Saidi M.R. Org. Lett. 2005, 18;7 3649.
18. Chao-Jun Li., Barry M.Trost. Proc. Natl. Acad Sci USA. 2008, 105, 13197.

19. Talybov A., Mamedbeyli E., Abbasov V., Abdullayev Y. and Kochetkov K. Green and Sustainable Chemistry. 2013, 3, 31.