

С. Л. Вульфович (асп.)^{1а}, О. В. Акчурина (к.х.н., н.с.)^{1б}, А. Н. Лобов (к.х.н., с.н.с.)^{1б},
Н. А. Сергеева (к.х.н., зав. лаб.)², А. Г. Телин (к.х.н., зам. дир.)²,
Л. В. Спирихин (к.х.н., с.н.с.)^{1б}, В. А. Докичев (д.х.н., проф., зав. лаб.)^{1а}

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАПСОВОГО МАСЛА С 2-[(2-АМИНОЭТИЛ)АМИНО]ЭТАНОЛОМ В ПРИСУТСТВИИ КАТИОНИТА КУ-2-8 И NaOH

¹ Уфимский Институт химии УФИЦ РАН,

^а лаборатория биоорганической химии и катализа; ^б лаборатория физико-химических методов анализа
450054, г. Уфа, пр. Октября, 69; e-mail: sofia-wolf@mail.ru

² Уфимский Научно-Технический Центр, лаборатория химических исследований
450076, г. Уфа, ул. Аксакова, 59; e-mail: TelinAG@ufntc.ru.

S. L. Vul'fovich¹, O. V. Akchurina¹, A. N. Lobov¹, N. A. Sergeeva²,
A. G. Telin², L. V. Spirikhin¹, V. A. Dokichev¹

CATALYTIC INTERACTION OF RAPESEED OIL WITH 2-[(2-AMINOETHYL)AMINO]ETHANOL IN THE PRESENCE OF CATIONITE KU-2-8 AND NaOH

¹ Ufa Institute of Chemistry of UFRC RAS

69, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia; e-mail: sofia-wolf@mail.ru

² Ufa Scientific and Technical Center

59, Aksakova Str., 450076, Ufa, Russia; e-mail: TelinAG@ufntc.ru

Изучено каталитическое взаимодействие триглицеридов жирных кислот рапсового масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом в присутствии катионита КУ-2-8 и гидроксида натрия. С высокими выходами синтезированы 1-гидроксиэтил-2-алкенилимидазолины и аминокамиды на основе жирных C18:1 и C18:2 кислот рапсового масла. Изучено противокоррозионное действие полученных производных олеиновой и линолевой кислот по отношению к углеродистой стали в водно-солевых средах в условиях углекислотной коррозии.

Ключевые слова: аминокамиды; асфальтосмолапарафиновые отложения; гидроксид натрия; имидазолины; ингибирование; катализ; катионит КУ-2-8; рапсовое масло, 2-[(2-аминоэтил)амино]этанол; углекислотная коррозия.

Работа выполнена в рамках Государственного задания УФИХ УФИЦ РАН по темам №122031400260-7 «Синтез биологически активных веществ на основе природных соединений. Создание экологически чистых материалов и технологий» и №122031400282-9 «Установление структуры, состава и физико-химических свойств органических, биоорганических

The catalytic interaction of triglycerides of fatty acids of rapeseed oil with 2-[(2-aminoethyl)amino]ethanol in the presence of KU-2-8 cationite and sodium hydroxide has been studied. They are synthesized with high yields of 1-hydroxyethyl-2-alkenylimidazolines and aminoamides based on C18:1 and C18:2 fatty acids of rapeseed oil. The anti-corrosion effect of the resulting oleic and linoleic acid derivatives with respect to carbon steel in water-salt media under conditions of carbon corrosion has been studied.

Key words: aminoamides; 2-[(2-aminoethyl)amino]ethanol; asphalt resin paraffin deposits; carbon dioxide corrosion; catalysis; imidazolines, inhibition; KU-2-8 cationite; rapeseed oil; sodium hydroxide.

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ufa Institute of Chemistry of the Ufa Research Center of the Russian Academy of Sciences on the topics No.122031400260-7 «Synthesis of biologically active substances based on natural compounds. Creation of environmentally friendly materials and technologies» and No. 122031400282-9 «Establishment of the structure, composition and physicochemical properties of

Дата поступления 14.05.22

ких, полимерных молекул и комплексных соединений методами хроматографии, масс-спектрометрии, ИК, УФ, ЭПР и ЯМР-спектроскопии».

Аминоамиды жирных кислот на основе полиэтиленполиаминов, а также продукты их внутримолекулярной циклизации – 1,2-имидазолины являются основой для получения различных нефтепромысловых реагентов, находящихся применение при защите технологического оборудования в процессах добычи и транспортировки нефти^{1–5}. Способность имидазолинов к пленкообразованию, эмульгированию и смачиванию, а также устойчивость к термическому воздействию и высокие антикоррозионные свойства способствовали их широкому использованию в качестве ингибиторов коррозии сталей в водо-углеводородных средах^{2–4}. Необходимо отметить, что имидазолины относятся к ингибиторам коррозии смешанного типа, так как снижают скорость анодного растворения железа и катодного восстановления водорода.

Как показывает практика, ассортимент и эффективность нефтепромысловых реагентов, решающих проблему защиты нефтепромыслового оборудования в водонефтяных средах, содержащих как сероводород, так и углекислый газ, весьма ограничены. Поэтому поиск новых эффективных ингибиторов коррозии и разработка методов их получения являются актуальными задачами.

Работы по синтезу новых соединений в этом классе ведутся интенсивно. В литературе методы их получения на основе нитрилов, альдегидов, карбоновых кислот, первичных аминов и других соединений хорошо представлены в обзорах^{1,6,7}. Особый интерес вызывают методы конденсации полиэтиленполиаминов с высшими карбоновыми кислотами и их производными, в том числе каталитические^{8–16}.

Одним из перспективных направлений в этом плане является синтез на основе возобновляемого растительного сырья аминоксидов и имидазолинов, физико-химические свойства которых, а также их термическая устойчивость и биоразлагаемость определяют поиск и создание на их основе «зеленых» нефтепромысловых реагентов^{17–19}.

В предыдущих сообщениях нами предложены новые удобные методы одностадийного синтеза на основе доступных метиловых эфиров пальмитиновой и стеариновой кислот, а также масла крамбе N-[3-(диметиламино)пропил]амидов карбоновых кислот и эфиров сахарозы, перспективных для применения в качестве «зеленых» ПАВ при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений^{17,19}.

organic, bioorganic, polymeric molecules and complex compounds by chromatography, mass spectrometry, IR, UV, EPR and NMR spectroscopy».

Данная работа посвящена разработке методов синтеза аминоксидов и 1,2-дизамещенных имидазолинов каталитическим взаимодействием триглицеридов рапсового масла и 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола, а также изучению свойств полученных продуктов в качестве ингибиторов коррозии и парафиноотложения.

Описано получение алкилимидазолинов реакцией высших карбоновых кислот или подсолнечного масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом, однако, в литературе отсутствуют данные о его взаимодействии с коммерчески доступным рапсовым маслом, а также сведения о возможности ингибирования коррозии продуктами реакции^{20,21}.

Выбранное нами в качестве объекта исследования рапсовое масло имело следующий состав высших жирных карбоновых кислот, %: пальмитиновая 6.56, олеиновая 34.40, линолевая 56.24, стеариновая 2.79. Исследование состава и структуры триглицеридов рапсового масла показало, что его основным компонентом является 1,3-диглицерин-2-олеоилглицерин, содержание которого достигает 91%.

Структура 1,3-диглицерин-2-олеоилглицерина была подтверждена спектрами ЯМР ¹H и ¹³C, при этом интерпретация строения и отнесение сигналов атомов H и C были выполнены с применением методик H-H COSY и HMBC. Так, на основании мультиплетности и величины химических сдвигов сигналов в спектрах ЯМР ¹³C однозначно определяются атомы C^{1,3} и C² глицеринового фрагмента молекулы. Атомы C^{1,3} магнитно-эквивалентны и проявляются при δ_C 62.12 м.д., а атом C², соответствующий метиновой группе НСО, наблюдается при δ_C 69.11 м.д. Сигналы протонов, связанные с этими углеродными атомами, в спектре ЯМР ¹H проявляются при δ_H 5.25 м.д. в виде мультиплета для группы СН₂О и в виде двух сигналов при δ_H 4.31 м.д. (J 11.8 Гц, 5.0 Гц) и 4.12 м.д. (J 11.8 Гц, 5.9 Гц), которые принадлежат двум диастереотопным метиновым протонам, взаимодействующим в спектре COSY между собой и с метиленовыми протонами. Сигналы карбонильных углеродных атомов олеилового и линолеилового фрагментов наблюдаются при δ_C 172.43 и 179.80 м.д. в соотношении интенсивностей 1:2. В области *цис*-двойных связей С=С сигналы атомов C^{9ол,10ол} при δ_C 129.68 и 129.93 м.д. относятся к олеиновой кислоте, а четыре сигнала атомов C^{9л,10л,12л,13л} при δ_C 128.01, 128.15, 129.86 и 130.03 м.д. – к линолевой кислоте. Также в спектре ЯМР

^{13}C имеется характерный сигнал $\text{C}^{11\text{л}}$ при $\delta_{\text{с}}$ 25.67 м.д. (^1H триплет 2.74 м.д.), который в спектре H-H COSY показывает взаимодействие с протонами двойной связи при $\text{C}^{10\text{л}}$ и $\text{C}^{12\text{л}}$. Химические сдвиги и суммарная интегральная интенсивность других сигналов протонов и атомов углерода в спектрах ЯМР ^{13}C , ^1H и их корреляционные спектры подтверждают предположение о том, что рапсовое масло содержит преимущественно 1,3-дилинолеил-2-олеилглицерин. Сигнал протона δ_{H} 5.25 м.д. при C^2 углеродном атоме глицеринового фрагмента молекулы имеет в спектре HMBC кросс-пик взаимодействия с сигналом карбонильного атома углерода олеоида при $\delta_{\text{с}}$ 172.43 м.д., что говорит о расположении олеоильного заместителя во 2-положении глицерида.

Как правило, алкилимидазолины получают путем взаимодействия жирных кислот с первичными диаминами при повышенных температурах (200–270 °C) и пониженном давлении ¹.

Нами установлено, что кипячение бензольного раствора 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола (**1**) с рапсовым маслом **2** в мольном соотношении 4.5 : 1 в присутствии 1% ионнообменной смолы КУ-2-8 в течение 6 ч с насадкой Дина-Старка, для отбора воды, приводит к образованию (9Z)-N-{2-[(2-гидроксиэтил)амино]этил}октадец-9-енамида (**3a**), (9Z,12Z)-N-{2-[(2-гидроксиэтил)амино]этил}октадека-9,12-диенамида (**3b**), 2-{2-[(8Z)-гептадец-8-ен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ола (**4a**) и 2-{2-[(8Z,11Z)-гептадека-8,11-диен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ола (**4b**) с общим выходом 97% в соотношении 1 : 2 : 1.7 : 3.4.

Нагревание в *o*-ксилоле приводит с общим выходом 96% к смеси продуктов конденсации **3a**, **3b**, **4a** и **4b**, содержание имидазолинов в которой достигает ~89% (схема). Применение ионнообменной смолы КУ-2-8 позволило получить те же продукты при более низких температурах реакции 80–120 °C.

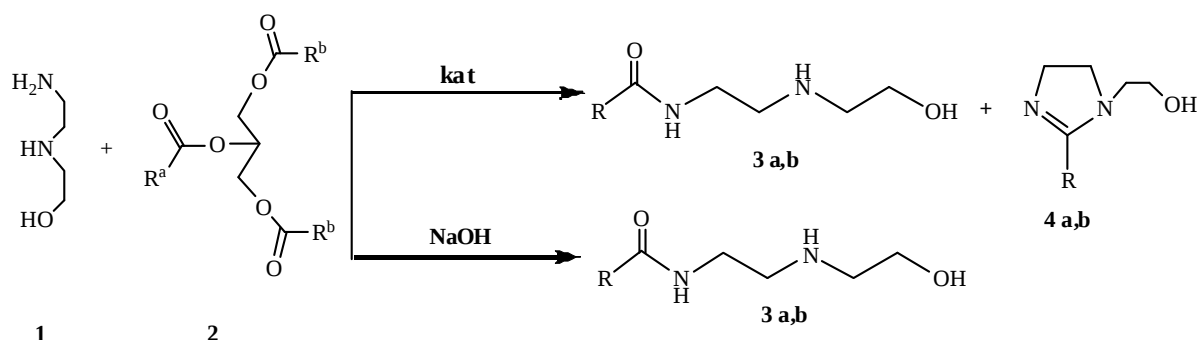
Реакция амидирования 1,3-дилинолеил-2-олеилглицерина протекает селективно с участием первичной аминогруппы 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола (**1**). *Цис-транс* изомеризация двойных связей $\text{C}=\text{C}$ под действием КУ-2-8 не происходит.

Процесс образования 2-{2-[(8Z)-гептадец-8-ен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ола (**4a**) и 2-{2-[(8Z,11Z)-гептадека-8,11-диен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ола (**4b**) в растворе ксилола контролировали по ИК-спектрам реакционной массы, в которых определяли изменения интенсивностей полос 1601 и 1650 см^{-1} , относящихся к валентным колебаниям связей $\text{C}=\text{N}$ имидазолинового цикла и $\text{C}=\text{O}$ амидных групп соответственно (рис. 1). Отсутствие валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ сложноэфирных групп в области 1740 см^{-1} через 1 ч после начала реакции свидетельствует о высокой реакционной способности глицеридов рапсового масла при каталитическом взаимодействии с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом в присутствии КУ-2-8.

Структуры 2-алкил-2-имидазолина и других компонентов смеси продуктов реакции были подтверждены данными ЯМР и масс-спектрометрии. Так, образование имидазолинового цикла подтверждается появлением в спектре ЯМР ^{13}C сигналов C^2 168.0 м.д. характерного для связи $\text{C}=\text{N}$ имидазолинового кольца, а также C^4 51.31, C^5 50.01 м.д. и сигналов в спектре ЯМР ^{15}N атомов N^1 93.0 и N^3 199.4 м.д.

Масс-спектр продуктов конденсации рапсового масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом (**1**) в присутствии КУ-2-8 подтвердил, что продуктами реакции являются аминокамиды **3a,b** и 1-гидроксиэтил-2-имидазолины линолевой и олеиновой кислот **4a,b**, для которых относительные интенсивности пиков ионов $[\text{M}+\text{H}]^+$ ($I_{\text{ому}}$) в масс-спектре ХИАД составляют 19.7, 28.5, 72.3 и 100 % соответственно (рис. 2).

Для подтверждения структур аминокамидов **3a,b**, образовавшихся при реакции 2-[(2-аминоэ-



Схема

2007 в качестве ингибиторов углекислотной коррозии при 40 и 60 °С в минерализованной воде с общей минерализацией 50936 и 18000 мг/л.

Для эксперимента были приготовлены два состава на основе синтезированных в ксилоле имидазолинов (табл. 1). Полученные данные по зависимости эффективности ингибирования коррозии от концентрации показали, что степень защиты стали от углекислотной коррозии 30%-ных растворов синтезированных соединений составила более 90% при дозировке 20 мг/л при минерализации среды 18000 мг/л (табл. 2).

Таблица 1
Составы ингибиторов коррозии, % мас.

Объект	Имидазолины	Неонол АФ-9-12	Метанол	Вода
Состав 1	46.0	2.0	42.0	10.0
Состав 2	25.0	12.5	52.0	10.5

Защитный эффект снижается при повышении температуры с 40 до 60 °С в среде с минерализацией 50937 мг/л для испытуемых составов.

Таблица 2
Эффективность защиты от углекислотной коррозии, %

Конц-я, мг/л	Минерализация среды 50937 мг/л			
	Т = 40 °С		Т = 60 °С	
	Состав 1	Состав 2	Состав 1	Состав 2
10	–	89	–	–
20	85	95	83	74
30	89	94	90	82
50	91	91	85	85
Конц-я, мг/л	Минерализация среды 18000 мг/л			
	Т = 40 °С		Т = 60 °С	
	Состав 1	Состав 2	Состав 1	Состав 2
10	92	–	91	87
20	96	88	92	94
30	88	91	94	91
50	91	90	–	–

С целью определения возможности использования полученных аминоксидов 3а,б в качестве ингибиторов парафиноотложения в нефтедобывающей промышленности их эффективность ингибирования изучена методом «холодного стержня» на примере нефти Абдуловского месторождения. Установлено, что 30% раствор амидов в MeOH ингибирует на 16% осаждение АСПО при дозировке 400 ppm (0.04%).

Таким образом, на основе рапсового масла и 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола получены аминоксиды и 1-гидроксиэтил-2-алкенилимидазолины, применение которых в технологических составах при добыче и транспортировке нефти будет способствовать защите нефтепромыслового оборудования от коррозии и АСПО.

Экспериментальная часть

В работе использовали рапсовое масло (ООО «Заводоуковский маслозавод», ГОСТ 31759-2012), 2-[(2-аминоэтил)амино]этанол (Единая торговая система), бензол (Химсервис, марки «хч»), о-ксилол (Химсервис, марки «чда»), гексан (Химсервис, марки «ч»), катионит КУ-2-8 (Химсервис, «высший сорт»), хлорид натрия (Химсервис, марка «чда»), хлорид магния 6-водный (Химсервис, марка «чда»), натрий углекислый кислый (Химсервис, марка «хч»), а также ацетон (Химсервис, марка «осч»), метанол (Химсервис, марка «хч»).

Жирнокислотный состав рапсового масла определяли по ГОСТ 31665-2012 и ГОСТ 31663-201226,27 (табл. 3).

Таблица 3
Жирно-кислотный состав рапсового масла

Наименование		Содержание, в % от общей суммы
C16:0	Пальмитиновая кислота	6.56
C18:2	Линолевая кислота	56.24
C18:1	Олеиновая кислота	34.40
C18:0	Стеариновая кислота	2.79

Идентификацию полученных метиловых эфиров жирных кислот рапсового масла проводили с использованием библиотеки масс-спектров NIST 20 Mass Spectral Library²⁸ на газовом хромато-масс-спектрометре Agilent GC/MSD 5977B с хроматографическим разделением в потоке He со скоростью 1 мл/мин, делением потока 120:1, при температуре испарителя 300 °С на хроматографической колонке Agilent HP-5MS (30 м × 250 мкм × 0.25 мкм) с программированием температуры (50 °С, время выдержки 3 мин; 20 °С/мин до 300 °С, время выдержки 5 мин). Параметры MSD 5977B: режим сканирования, температура ионного источника 230 °С, диапазон масс 40-400 Да, задержка растворителя 4 мин. ТСХ-Анализ протекания реакции проводили на пластинках TLC Silica gel 60 F254 (Merck), элюент – петролейный эфир-этилацетат (3:2), проявитель – фосфорномолибденовая кислота.

Спектры ЯМР ¹H, ¹³C и ¹⁵N регистрировали на импульсном ЯМР спектрометре Bruker Avance III с рабочей частотой 500.13 МГц (¹H), 125.47 МГц (¹³C) и 50.58 МГц (¹⁵N) с использованием 5 мм датчика с Z-градиентом PABBO при постоянной температуре образца 298К в CDCl₃. Химические сдвиги в спектрах ЯМР ¹H и ¹³C приведены в м.д. относительно внутреннего стандарта Me₄Si. Химические сдвиги в спектрах ЯМР ¹⁵N калибровали по методике χ-эталоны. Спектры ЯМР ¹H регистрировали в ходе 8 сканов со спектральной

шириной 10 кГц и 64К точек данных, что обеспечивает цифровое разрешение ~0.5 Гц (длительность 90-го импульса 11.5 мкс). Задержка между импульсными последовательностями устанавливалась для достижения полной релаксации и составляла 10 с. С целью увеличения цифрового разрешения применялось дополнение нулями и умножение Фурье-образа спектра на экспоненциальную функцию ($lb = 0.1$ Гц для ^1H и 1 Гц для ^{13}C). Спектры ЯМР ^{13}C с подавлением по протонам (WALTZ-16) регистрировали при следующих условиях: спектральное окно – 29.8 кГц, количество точек – 64К, длительность возбуждающего импульса (30°) – 3.2 мкс, релаксационная задержка – 2 с, количество проходов – 2048–4096. Редактирование спектров ЯМР ^{13}C проводилось на основании экспериментов DEPT-90 и DEPT-135. Длительность импульса регенерирующего поперечную намагниченность выбиралась 6 мкс (DEPT-90) и 9 мкс (DEPT-135), рефокусирующая задержка $1/2J = 3.5$ мс, 64К точки накоплены в течение 256 проходов, спектральное окно – 29.8 кГц, экспоненциальное уширение линий – 1 Гц. С целью определения интегральных интенсивностей углеродных сигналов регистрировали спектры ЯМР ^{13}C с обратной прерывистой развязкой от протонов (без ядерного эффекта Оверхаузера) при следующих условиях: спектральное окно – 29.8 кГц, количество точек – 16К (время накопления спада свободной индукции 0.28 с), 90° возбуждающий импульс длительностью 9.6 мкс, релаксационная задержка 20.0 с, количество проходов 512–2048.

Двумерные спектры регистрировали в стандартных режимах многоимпульсных последовательностей программного обеспечения прибора. Спектры $\{^1\text{H}, ^1\text{H}\}$ gsCOSY снимали со следующими параметрами: размер матрицы 4К на 512 эксп. при спектральном окне 6.0 кГц, при обработке использовалась синусоидально-колоколообразная взвешивающая функция для $F1$ и $F2$ проекций ($ssb = 2$). Спектры $\{^1\text{H}, ^{13}\text{C}\}$ gsHSQC регистрировали с задержкой $d4$, оптимизированной под наблюдение $J_{\text{CH}} = 145$ Гц, размер матрицы составил 4К на 512 эксп., 6.0 кГц для $F2$ -проекции и 27.7 кГц – для $F1$. Спектры $\{^1\text{H}, ^{13}\text{C}\}$ gsHMBC (размер матрицы 4К на 512 эксп., 6.0 кГц для $F2$ -проекции и 27.7 кГц – для $F1$) регистрировали с задержкой $d6 = 71.4$ мс ($\text{cnst}13 = 7$ Гц). При регистрации спектра $\{^1\text{H}, ^1\text{H}\}$ NOESY образец для удаления растворенного кислорода продули сухим аргонном в течение 10 мин перед проведением эксперимента. Для записи спектра $\{^1\text{H}, ^1\text{H}\}$ NOESY использовалась матрица 2К на 256 эксп. со спектральным окном 6.0 кГц, время смешения $d8 = 0.5$ с. Спектр $\{^1\text{H}, ^{15}\text{N}\}$

gsHSQC (размер матрицы 4К на 512 эксп., 6.0 кГц для $F2$ -проекции и 15.2 кГц – для $F1$) снимали с задержкой $d4$, оптимизированной под наблюдение $J_{\text{NH}} = 80$ Гц. Спектры $\{^1\text{H}, ^{15}\text{N}\}$ gsHMBC (размер матрицы 4К на 512 эксп., 6.0 кГц для $F2$ -проекции и 15.2 кГц – для $F1$) регистрировали с задержкой $d6 = 142.8$ мс ($\text{cnst}13 = 3.5$ Гц).

ИК спектры снимали на спектрометре Фурье «Nicolet iS 10» с математическим обеспечением «OMNIC» в интервале частот 400–4000 cm^{-1} .

Хромато-масс-спектры химической ионизации при атмосферном давлении (ХИАД) продуктов реакции получены на квадрупольном жидкостном хромато-масс-спектрометре Shimadzu LCMS-2010 EV (шприцевой ввод образца, раствор в ацетонитриле, элюент – ацетонитрил, скорость потока 0.1 мл/мин) в режиме регистрации положительных и отрицательных ионов при потенциале капилляра 4.5 и -3.5 кВ соответственно. Температура капилляра интерфейса 250 $^\circ\text{C}$, температура нагревателя 200 $^\circ\text{C}$, температура испарителя 230 $^\circ\text{C}$. Скорость потока небулизатора (распыляющего) газа (азот) 1.5 л/мин.

Эксперименты по коррозии проводили в соответствии с ГОСТ Р 9.905-2007 с использованием образцов углеродистой стали 20. В качестве минерализованной среды применяли водные растворы следующего ионного состава: $\text{Ca}^{2+} - 72$, $\text{Mg}^{2+} - 51$, $\text{Na}^+ - 6854$, $\text{Cl}^- - 10587$, $\text{HCO}_3^- - 436$ мг/л (общая минерализация 18000 мг/л) и $\text{Ca}^{2+} - 1621$, $\text{Mg}^{2+} - 195$, $\text{Na}^+ - 17885$, $\text{Cl}^- - 30701$, $\text{HCO}_3^- - 535$ мг/л (общая минерализация 50936 мг/л), приготовленные из солей CaCl_2 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaCl и NaHCO_3 . Для вытеснения кислорода из минерализованной среды до начала эксперимента в течение 30 мин барботировали углекислый газ. Время эксперимента по коррозии составляло 6 ч.

Эффективность ингибирования амидами **3a,b** АСПО определяли методом «холодного стержня» ^{29, 30}. В две химические ячейки объемом по 200 мл наливали равные количества нефти Абдуловского месторождения. Наполненные ячейки помещали в водяную баню при температуре 40 $^\circ\text{C}$. 30%-ный раствор амидов (**3a,b**) в метаноле вводили в пробу нефти в количестве 400 ppm (0.04%). Далее, в ячейки погружали «холодные стержни» ($\varnothing 15$ мм, длина 110 мм, материал – нержавеющая сталь). Длина рабочей поверхности составляла 70 мм. «Холодный стержень» присоединялся к циркуляционному термостату-криостату. Устанавливали температуру «холодного стержня» 5 $^\circ\text{C}$ и выдерживали ее в течение 4 ч. Затем «холодные стержни» извлекали из ячеек и оставляли в поднятом положении в течение 20 мин. Расчеты эффективности реагентов (Z) проводили по формуле:

$$Z = (m_o - m_u) / m_o \cdot 100\%,$$

где m_o , m_u – масса сформировавшихся отложений (АСПО) в отсутствие ингибитора и в присутствии ингибитора, соответственно

Рапсовое масло. Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 0.86-0.90 м (9H, $\text{H}_3\text{C}^{18\text{л}}$, $\text{H}_3\text{C}^{18\text{ол}}$), 1.24-1.38 м (46H, $\text{H}_2\text{C}^{4\text{л}}$ - $\text{H}_2\text{C}^{7\text{л}}$, $\text{H}_2\text{C}^{4\text{ол}}$ - $\text{H}_2\text{C}^{7\text{ол}}$, $\text{H}_2\text{C}^{15\text{л}}$ - $\text{H}_2\text{C}^{17\text{л}}$, $\text{H}_2\text{C}^{14\text{ол}}$ - $\text{H}_2\text{C}^{17\text{ол}}$), 1.57-1.63 м (6H, $\text{H}_2\text{C}^{3\text{л}}$, $\text{H}_2\text{C}^{3\text{ол}}$), 1.99-2.06 м (12H, $\text{H}_2\text{C}^{8\text{л}}$, $\text{H}_2\text{C}^{8\text{ол}}$, $\text{H}_2\text{C}^{11\text{ол}}$, $\text{H}_2\text{C}^{14\text{л}}$), 2.28 т (6H, $\text{H}_2\text{C}^{2\text{л}}$, $\text{H}_2\text{C}^{2\text{ол}}$), 2.75 т (2H, $\text{H}_2\text{C}^{11\text{л}}$), 4.12 дд (2H, $J^2=11.8$ Hz, $J^3=5.7$ Hz, H^b , H_2CO), 4.29 дд (2H, $J^2=11.8$ Hz, $J^3=4.1$ Hz, H^a , H_2CO), 5.25 тт (1H, $J^2=4.1$ Hz, $J^3=5.7$ Hz, HCO), 5.28-5.37 м (8H, $\text{HC}^{9\text{л}}$, $\text{HC}^{9\text{ол}}$, $\text{HC}^{10\text{л}}$, $\text{HC}^{10\text{ол}}$, $\text{HC}^{12\text{л}}$, $\text{HC}^{13\text{л}}$). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 14.12 ($\text{C}^{18\text{л}}$), 14.16 ($\text{C}^{18\text{ол}}$), 22.63 ($\text{C}^{17\text{л}}$), 22.74 ($\text{C}^{17\text{ол}}$), 24.94 ($\text{C}^{3\text{ол}}$), 24.96 ($\text{C}^{3\text{л}}$), 25.66 ($\text{C}^{11\text{л}}$), 27.22 ($\text{C}^{8\text{л}}$, $\text{C}^{14\text{л}}$), 27.28 ($\text{C}^{8\text{ол}}$, $\text{C}^{14\text{ол}}$), 29.16-29.89 ($\text{C}^{4\text{л}}$ - $\text{C}^{7\text{л}}$, $\text{C}^{4\text{ол}}$ - $\text{C}^{7\text{ол}}$, $\text{C}^{15\text{л}}$, $\text{C}^{15\text{ол}}$), 31.55 ($\text{C}^{16\text{л}}$), 31.98 ($\text{C}^{16\text{ол}}$), 33.99 ($\text{C}^{2\text{л}}$), 34.23 ($\text{C}^{2\text{ол}}$), 62.12 (H_2CO), 69.11 (HCO), 127.93 ($\text{C}^{13\text{ол}}$), 128.03 ($\text{C}^{12\text{л}}$), 129.64 ($\text{C}^{10\text{ол}}$), 129.83 ($\text{C}^{9\text{ол}}$, $\text{C}^{10\text{л}}$), 129.96 ($\text{C}^{9\text{л}}$), 172.80 ($\text{C}^{1\text{ол}}$), 172.43 ($\text{C}^{1\text{л}}$).

Взаимодействие рапсового масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом (2) в присутствии NaOH.

К 50 г (0.056 моль) рапсового масла добавили 17.3 г (0.166 моль) 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола (1), нагрели до 100 °С и добавили 0.1 г NaOH (2.5 ммоль). Температуру реакционной смеси повысили до 120 °С и выдержали при этой температуре в течение 3 ч. Получили 61.8 г (98%) темно-желтоватой вязкой жидкости, представляющей собой смесь соединений **3a** и **3b** в соотношении 1:2.

(9Z)-N-{2-[(2-гидроксиэтил)амино]этил}октадец-9-енамид (**3a**). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 0.83 т (3H, CH_3), 1.17-1.61 м (22H, H_2C^3 - H_2C^7 , H_2C^{12} - H_2C^{17}), 1.95 м (4H, H_2C^8 , H_2C^{11}), 2.12 т (2H, H_2C^2), 2.72 м (4H, H_2CNCH_2), 3.31 кв (2H, CH_2O), 3.62 т (2H, CONCH_2), 3.99 уш.с (2H, OH, H_2CNHCH_2), 5.28 м (2H, $\text{HC}^9=\text{C}^{10\text{H}}$), 6.76 т. (1H, CONH). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 14.02 (C^{18}), 22.58 (C^{17}), 25.71 (C^3), 27.11 (C^8 , C^{11}), 29.10-29.66 (C^4 - C^7 , C^{12} - C^{15}), 31.81 (C^{16}), 36.57 (C^2), 38.85 (CONHCH_2), 48.58 ($\text{CONHCH}_2\text{CH}_2$), 51.02 ($\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 60.49 (CH_2OH), 129.61 (C^9), 129.91 (C^{10}), 173.93 ($\text{C}=\text{O}$). Спектр ЯМР ^{15}N (δ , м.д.): 29.43 (NH), 113.93 (CONH). Масс-спектр m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 369.3 (66) $[\text{M} + 1]^+$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1639-1650.21 ($\text{C}=\text{O}$).

(9Z,12Z)-N-{2-[(2-гидроксиэтил)амино]этил}октадека-9,12-диенамид (**3b**). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 0.83 т (3H, CH_3), 1.17-1.61 м (16H, H_2C^3 - H_2C^7 , H_2C^{15} - H_2C^{17}), 1.99 м (4H, H_2C^8 , H_2C^{14}), 2.12 т (2H, H_2C^2), 2.71 м (2H, H_2C^{11}), 2.72

м (4H, H_2CNCH_2), 3.31 к (2H, CH_2O), 3.62 т (2H, CONCH_2), 3.99 уш.с (2H, OH, H_2CNHCH_2), 5.28 м (4H, $\text{HC}^9=\text{C}^{10\text{H}}$, $\text{HC}^{12}=\text{C}^{13\text{H}}$), 6.76 т (1H, CONH). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 13.98 (C^{18}), 22.47 (C^{17}), 25.54 (C^{11}), 25.21 (C^3), 27.11 (C^8 , C^{14}), 29.10-29.66 (C^4 - C^7 , C^{15}), 31.41 (C^{16}), 36.58 (C^2), 38.85 (CONHCH_2), 48.58 ($\text{CONHCH}_2\text{CH}_2$), 51.02 ($\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 60.49 (CH_2OH), 127.80 (C^{12}), 127.97 (C^{10}), 129.90 (C^9), 130.12 (C^{13}), 175.95 ($\text{C}=\text{O}$). Спектр ЯМР ^{15}N (δ , м.д.): 29.43 (NH), 113.93 (CONH). Масс-спектр m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 367.3 (100) $[\text{M} + 1]^+$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1639-1650 ($\text{C}=\text{O}$).

Взаимодействие рапсового масла с 2-[(2-аминоэтил)амино]этанолом (2) в присутствии КУ-2-8.

К раствору 34.44 г (0.33 моль) 2-[(2-аминоэтил)амино]этанола (2) в 50 мл бензола (о-ксилола) добавили 1 г (1% мас.) КУ-2-8 и 64.69 г (0.073 моль) рапсового масла. Полученную смесь кипятили с насадкой Дина-Старка для удаления воды в течение 6 ч. Катализатор отфильтровали через бумажный фильтр. Фильтрат упарили при пониженном давлении.

При проведении реакции в бензоле получили 76.6 г (97%) вязкой жидкости коричневого цвета, представляющей собой смесь соединений **3a**, **3b**, **4a** и **4b** в соотношении 1 : 2 : 1.7 : 3.4.

В о-ксилоле получили 76.4 г (96%) вязкой жидкости коричневого цвета, представляющей собой смесь соединений **3a**, **3b**, **4a** и **4b** в соотношении 1 : 2 : 7.9 : 15.8.

Продукты реакции характеризовали в смеси методом ЯМР-спектроскопии, а их количественный состав определяли по соотношению площадей сигналов метиленовых протонов фрагментов CONHCH_2 и $=\text{NCH}_2$.

2-{2-[(8Z)-гептадец-8-ен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ол (**4a**). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1.58 уш.м (2H, H_2C^2), 2.20 уш.м (2H, H_2C^1), 3.19 уш.м (2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 3.36 т (2H, $=\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}$), 3.50 т (2H, $=\text{NCH}_2$), 3.62 уш.м (2H, CH_2O), 3.99 уш.с. (1H, OH). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 26.63 (C^2), 27.64 (C^1), 49.01 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 50.01 ($=\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}$), 51.31 ($=\text{NCH}_2$), 59.25 (CH_2O), 168.0 ($\text{C}=\text{N}$). Спектр ЯМР ^{15}N (ν , м.д.): 93.0 (N^1), 199.4 (N^3). Остальные сигналы совпадают с сигналами гептадец-8-ен-1-ильного радикала, входящего в структуру аминоамида (**3a**). Масс-спектр m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 350.0 (72,3) $[\text{M} + 1]^+$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1601.68 ($\text{C}=\text{N}$).

2-{2-[(8Z,11Z)-гептадека-8,11-диен-1-ил]-4,5-дигидро-1H-имидазол-1-ил}этан-1-ол (**4b**). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1.58 уш.м (2H, H_2C^2), 2.20 уш.м (2H, H_2C^1), 3.19 уш.м (2H, $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 3.36 т (2H, $=\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}$), 3.50 т (2H, $=\text{NCH}_2$), 3.62 уш.м (2H, CH_2O), 3.99 уш.с. (1H, OH). Спектр

ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 26.63 (C^2), 27.64 (C^1), 49.01 ($\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 50.01 ($=\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}$), 51.31 ($=\text{NCH}_2$), 59.25 (CH_2O), 168.0 ($\text{C}=\text{N}$). Спектр ЯМР ^{15}N (δ , м.д.): 93.0 (N^1); 199.4 (N^3). Остальные

сигналы практически совпадают с сигналами гептадека-8,11-диен-1-ильного радикала, входящего в структуру аминоксида **3b**. Масс-спектр m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 349.4 (100) $[\text{M}+1]^+$. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1601.68 ($\text{C}=\text{N}$).

Литература

1. Mehedi Sh., Tepe J. J. Recent advances in the synthesis of imidazolines (2009–2020) // *Advanced Synthesis & Catalysis*. – 2020. – V.362, №20. – Pp.4189–4225.
2. Askari M., Aliofkhazraei M., Jafari R., Hamghalam P., Hajizadeh A. Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production – a review // *Appl. Surf. Sci. Adv.* – 2021. – V.6. – 100128.
3. Kelland M.A. *Production Chemical for the Oil and Gas Industry*. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. – 412 p.
4. Даминов А.А., Рагулин В.В., Волошин А.И., Телин А.Г. Современная практика применения противокоррозионной защиты оборудования нефтедобывающих скважин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2020. – V.6, №128. – С.30–44.
5. Xiangjun K., Chengduo Q., Weiyu F., Zupei L. Experimental and QSAR study on the surface activities of alkyl imidazoline surfactants // *J. Mol. Struct.* – 2018. – V.1156. – Pp.164–171.
6. Crouch R.D. Synthetic routes toward 2-substituted 2-imidazolines // *Tetrahedron*. – 2009. – V.65, №12. – Pp. 2387–2397.
7. Liu H., Du D-M. Recent Advances in the Synthesis of 2-Imidazolines and Their Applications in Homogeneous Catalysis // *Adv. Synth. Catal.* – 2009. – V.351, №4. – Pp.489–519.
8. Абутков А.В., Садретдинов И.Ф., Алябьев А.С., Арсланов А.К. Синтез производных 1,2-имидазолина – активной основы ингибитора коррозии. Комплексный подход к анализу имидазолинов на примере полученных соединений // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т.10, №1. – С.180–184.
9. Бадикова А.Д., Галютдинова А.А., Кашаева С.Р., Кудашева Ф.Х., Цадкин М.А., Мортиков Е.С. Разработка технологии получения имидазолинов – ингибиторов коррозии // Нефтехимия. – 2016. – Т.56, №4. – С.419–424.
10. Аббасов В.М., Мамедбейли Э.Г., Амагалиева Д.Б., Эфендиева Л.М., Мамедова Н.М., Агазаде Е.Дж., Агамалиев З.З. Синтез производных имидазолинов на основе синтетических нефтяных кислот и их влияние на микробиологическую коррозию // Практика противокоррозионной защиты. – 2018. – Т.1, №87. – С.17–23.
11. Ismail A., Irshad H.M., Zeino A., Toor I.H. Electrochemical Corrosion Performance of Aromatic Functionalized Imidazole Inhibitor Under Hydrodynamic Conditions on API X65 Carbon Steel in 1M HCl Solution // *Arabian J. Sci. Eng.* – 2019. – V.44. – Pp.5877–5888.
12. Курзин А.В., Евдокимов А.Н., Павлова О.С., Голикова В.С. Синтез 2-алкил-3-бензил-2-имидазоллиновых солей на основе жирных кислот таллового масла // Химия растительного сырья. – 2010. – №2. – С.177–178.

References

1. Mehedi Sh., Tepe J. J. [Recent advances in the synthesis of imidazolines (2009–2020)]. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 2020, vol.362, no.20, pp.4189–4225.
2. Askari M., Aliofkhazraei M., Jafari R., Hamghalam P., Hajizadeh A. [Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production – a review]. *Appl. Surf. Sci. Adv.*, 2021, vol.6, pp.100128.
3. Kelland M.A. [Production Chemical for the Oil and Gas Industry]. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014, pp.412.
4. Daminov A.A., Ragulin V.V., Voloshin A.I., Telin A.G. *Sovremennaya praktika primeneniya protivokorroziionnoy zashchity oborudovaniya nefteobuyayushchikh skvazhin* [Current practice of anti-corrosion protection of oil well equipment]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov* [Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products], 2020, vol.6, no.128, pp.30–44.
5. Xiangjun K., Chengduo Q., Weiyu F., Zupei L. [Experimental and QSAR study on the surface activities of alkyl imidazoline surfactants]. *J. Mol. Struct.*, 2018, vol.1156, pp.164–171.
6. Crouch R.D. [Synthetic routes toward 2-substituted 2-imidazolines]. *Tetrahedron*, 2009, vol.65, no.12, pp. 2387–2397.
7. Liu H., Du D-M. [Recent Advances in the Synthesis of 2-Imidazolines and Their Applications in Homogeneous Catalysis]. *Adv. Synth. Catal.*, 2009, vol.351, no.4, pp.489–519.
8. Abutkov A.V., Sadretdinov I.F., Alyabev A.S., Arslanov A.K. *Sintez proizvodnykh 1,2-imidazolina – aktivnoi osnovy ingibitora korrozii. Kompleksnyi podkhod k analizu imidazolinov na primere poluchennykh soedinenii* [Synthesis of 1,2-imidazoline derivatives – an active base of corrosion inhibitors. The complex approach to analysis of imidazoline on the example of the produced compounds]. *Neftegazovoe delo* [Petroleum Engineering], 2012, vol.10, no.1, pp.180–184.
9. Badikova A.D., Galyautdinova A.A., Kashaeva S.R., Kudashova F.Kh., Tsadkin M.A., Mortikov E.S. *Razrabotka tekhnologii polucheniya imidazolinov – ingibitorov korrozii* [Development of technology for obtaining imidazolines – corrosion inhibitors] *Neftekhimiya* [Petroleum Chemistry], 2016, vol.56, no.7, pp.651–656.
10. Abbasov V.M., Mamedbeyli E.H., Amagaliyeva D.B., Afandiyeva L.M., Mamedova N.M., Agazadeh E.D., Agamaliyev Z.Z. *Sintez proizvodnykh imidazolinov na osnove sinteticheskikh neftyanykh kislot i ikh vliyaniye na mikrobiologicheskuyu korroziyu* [Synthesis of the derivatives of imidazolins based on synthetic oil acids and their influence on the microbiological corrosion]. *Praktika protivokorroziionnoi zashchity* [Theory and Practice of Corrosion Protection], 2018, vol.1, no.87, pp.17–23.

13. Голубев И.Ю., Фахретдинов П.С., Романов Г.В., Добрынин А.Б., Хамидуллин Р.Ф. Синтез новых бисимидазолиновых соединений и их исследование в качестве ингибиторов коррозии в солянокислых водных средах // Нефтегазовое дело. – 2010. – №2. – С.13-24.
14. Попов Ю.В., Мохов В.М., Калитина И.И. Коллоидные и наноразмерные катализаторы в органическом синтезе XIII. Синтез 2-R-2-имидазолинов при катализе наночастицами меди и оксида железа // ЖОХ. – 2016. – Т.86, №2. – С.253-257.
15. Юсевич А.И., Цалко В.В., Осипенко Е.М., Куземкин Д.В. Синтез и свойства 2-алкил-1-(2-аминоэтил)-2-имидазолинов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – Т.2, №247. – С.144-152.
16. Веролайн И.В., Петрова В.Е., Темникова С.А. Синтез и свойства производных алкилимидазолинов // Вестн. ТвГУ. Серия: Химия. – 2014. – №1. – С.36-43.
17. Власова Л.И., Латыпова Д.Р., Л.А. Ахметьянова, Н.Н. Гибадуллина, А.А. Ратнер, А.Г. Телин, В.А. Докичев. Получение и гидрофобизирующие свойства гидрохлоридов N-[3-(диметиламино)пропил]амидов карбоновых кислот // ЖПХ. – 2017. – Т.90, №7. – С.890-895.
18. Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х. и др. Возобновляемые природные сырьевые ресурсы, строение, свойства, перспективы применения // Изв. вузов. Хим. и хим. технология. – 2021. – Т.64, №9. – С.4-121.
19. Киреева Д.Р., Муфтеева Н.Т., Файзуллина С.С., Власова Л.И., Телин А.Г., Докичев В.А. Получение эфиров сахарозы и жирных кислот в присутствии модифицированных карбонатом цезия цеолитов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2022. – Т.65, №1. – С.92-100.
20. Мельник А.П., Чумак О.П., Малик С.Г., Хусанов А.Е. Исследование взаимодействия гидроксиэтилэтилендиамин с подсолнечным маслом // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т.4, №6(76). – С.44-49.
21. Martinez-Palou R., De Paz G., Marin-Cruz J., Zepeda L.G. Synthesis of Long Chain 2-Alkyl-1-(2-hydroxyethyl)-2-imidazolines under Microwave in Solvent-Free Conditions // Synlett. – 2003. – V.12. – Pp.1847-1849.
22. Карпеева И.Э., Зорина А.В., Шихалиев Х.С. Синтез амидов жирных кислот подсолнечного масла // Вестн. ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармацевтика. – 2013. – №2. – С.39-41.
23. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромышленная химия: практическое руководство. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 288 с.
24. Shamsa A., Barmatov E., Hughes T.L., Hua Y., Neville A., Barker R. Hydrolysis of imidazoline based corrosion inhibitor and effects on inhibition performance of X65 steel in CO₂ saturated brine // J. Pet. Sci. Eng. – 2022. – V.208, Part B. – 109235. – Pp.1-12.
25. Wang B., Du M., Zhang J., Li C., Liu J., Liu H., Li R., Li Z. Corrosion inhibition of mild steel by the hydrolysate of an imidazoline-based inhibitor in CO₂-saturated solution // RSC Adv. – 2019. – V.9, №63. – Pp.36546-36557.
26. ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных
11. Ismail A., Irshad H.M., Zeino A., Toor I.H. [Electrochemical Corrosion Performance of Aromatic Functionalized Imidazole Inhibitor Under Hydrodynamic Conditions on API X65 Carbon Steel in 1M HCl Solution]. *Arabian J. Sci. Eng.*, 2019, vol.44, pp.5877-5888.
12. Kurzin A.V., Evdokimov A.N., Pavlova O.S., Golikova V.S. *Sintez 2-alkenil-3-benzil-2-imidazolinievykh solei na osnove zhirnykh kislot tallovogo masla* [Synthesis of 2-Alkenyl-3-Benzyl-2-Imidazolinium Salts Based on Tall Oil Fatty Acids]. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Plant chemistry], 2010, no.2, pp.177-178.
13. Golubev I.Y., Fakhretdinov P.S., Romanov G.V., Dobrynin A.B., Khamidullin R.F. *Sintez novykh bisimidazolinievykh soedinenii i ikh issledovanie v kachestve inhibitorov korrozii v solianokislykh vodnykh sredakh* [Synthesis new bisimidazolinium compounds and investigation the same as acid corrosion inhibitors]. *Neftgazovoe delo* [Petroleum Engineering], 2010, vol.2, pp.1-11.
14. Popov Yu.V., Mohov V.M., Kalitina I.I. [Colloid and nanosized catalysts in organic synthesis: XIII. Synthesis of 2-R-2-imidazolines catalyzed by copper and iron oxide nanoparticles]. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2016, vol.86, no.2, pp.281-285.
15. Usevich A. I., Tsalko V. V., Asipionak K. M., Kuzemkin D. V. *Sintez i svoystva 2-alkil-1-(2-aminoetil)-2-imidazolinov* [Synthesis and properties of 2-alkyl-1-(2-aminoethyl)-2-imidazolines]. *Trudy BGTU. Ser. 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya* [Proceedings of BSTU, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology], 2021, vol.2, no.247, pp.144-152.
16. Verolaynen N.V., Petrova V.E., Temnikova S.A. *Sintez i svoystva proizvodnykh alkilimidazolinov* [Synthesis and properties of derivatives alkylimidazolinov]. *Vestn. TvGU. Seriya: Khimiya* [Vestnik TVGU. Series: Chemistry], 2014, no.1, pp.36-43.
17. Vlasova L.I., Latypova D.R., Gibadullina N.N., Dokichev V.A., Akhmet'yanova L.A., Ratner A.A., Telin A.G. [Preparation and hydrophobizing properties of carboxylic acid N-[3-(dimethylamino)propyl]amide hydrochlorides]. *Russ. J. Appl. Chem.*, 2017, vol.90, no.7, pp.1102-1106.
18. Teptereva G.A., Pahomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov Je.H. etc. *Vozobnovliaemye prirodnye syr'evye resursy, stroenie, svoystva, perspektivy primeneniya* [Renewable natural raw materials. structure], properties, application prospects]. *Izv. vuzov. Khim. i khim. tekhnologiya* [ChemChemTech], 2021, vol.64, no.9, pp.4-121.
19. Kireeva D.R., Muftееva N.T., Fajzullina S.S., Vlasova L.I., Telin A.G., Dokichev V.A. *Poluchenie efirov sakharozy i zhirnykh kislot v prisutstvii modifitsirovannykh karbonatom tseziia tseolitov* [Production of esters of sucharose and fatty acids in the presence of zeolites modified with cesium carbonate]. *Izv. vuzov. Khim. i khim. tekhnologiya* [ChemChemTech], 2022, vol.65, no.1, pp.92-100.
20. Melnik A., Chumak O., Malik S., Khusanov A. *Issledovaniye vzaimodeystviya gidroksietiletilendiamina s podsolnechnym maslom* [Investigation of interaction of aminoethylethylenediamine with sunflower oil]. *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2015, vol.4, no.6(76), pp.44-49.
21. Martinez-Palou R., De Paz G., Marin-Cruz J., Zepeda L.G. [Synthesis of Long Chain 2-Alkyl-1-(2-

- кислот.– М.: Изд-во стандартов, 2014. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200104357>.
27. ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот.– М.: Изд-во стандартов, 2014. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200104486>.
 28. The NIST 20 Mass spectral library. Электронный ресурс: <https://www.sisweb.com/software/ms/nist.htm> (дата обращения 25.11.2021).
 29. Шадрина П.Н., Волошин А.И., Ленченкова Л.Е., Мочалкин Д.С. Методология подбора реагентов для ингибирования высокопарафинистых нефтей // Нефтегазовое дело.– 2016.– Т.14, №4.– С.64-68.
 30. Фарлеева А.Ф., Гараскина М.Н., Сидоров Г.М., Грохотова Е.В., Габдулхаков Р.Р. Комплексные ингибиторы для удаления асфальто-смолистых и парафиновых отложений // Фундаментальные исследования.– 2017.– Т.4, №2.– С.297-304.
 - hydroxyethyl)-2-imidazolines under Microwave in Solvent-Free Conditions]. *Synlett*, 2003, vol.12, pp.1847-1849.
 22. Karpeeva I.E., Zorina A.V., Shikhaliev Kh.S. *Sintez amidov zhirnykh kislot podsolnechnogo masla* [Synthesis of amides of fatty acid sunflower oil]. *Vestn. VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsevtika* [Proceeding of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], 2013, no.2, pp.39-41.
 23. Markin A.N., Nizamov R.E., Sukhoverkhov S.V. *Neftepromyslovaya khimiya: prakticheskoe rukovodstvo* [Production chemistry: Guidance Manual]. *Neftepromyslovaya khimiya: prakticheskoe rukovodstvo* [Vladivostok: Dalnauka], 2011, pp-288.
 24. Shamsa A., Barmatov E., Hughes T.L., Hua Y., Neville A., Barker R. [Hydrolysis of imidazoline based corrosion inhibitor and effects on inhibition performance of X65 steel in CO₂ saturated brine]. *J. Pet. Sci. Eng.*, 2022, vol.208, Part B, 109235. pp.1-12.
 25. Wang B., Du M., Zhang J., Li C., Liu J., Liu H., Li R., Li Z. [Corrosion inhibition of mild steel by the hydrolysate of an imidazoline-based inhibitor in CO₂-saturated solution]. *RSC Adv*, 2019, vol.9, no.63, pp.36546-36557.
 26. GOST 31665-2012. *Masla rastitel'nye i zhiry zhivotnye. Poluchenie metilovykh efirov zhirnykh kislot* [Vegetable oils and animal fats. Preparation of methyl esters of fatty acids]. Moscow, Standards Publishing House, 2014.
 27. GOST 31663-2012. *Masla rastitel'nye i zhiry zhivotnye. Opredelenie metodom gazovoi khromatografii massovoi doli metilovykh efirov zhirnykh kislot* [Vegetable oils and animal fats. Determination of methyl esters of fatty acids by gas chromatography method]. Moscow, Standards Publishing House, 2014.
 28. The NIST 20 Mass spectral library. Available at: <https://www.sisweb.com/software/ms/nist.htm> (accessed 25 November, 2021).
 29. Shadrina P.N., Voloshin A.I., Lenchankova L.E., Mochalkin D.S. *Metodologiya podbora reagentov dlya ingibirovaniya vysokoparafinistykh neftei* [Methodology of selection of reagents for inhibition highly paraffin oil]. *Neftegazovoe delo* [Petroleum Engineering], 2016, vol.14, no.4, pp.64-68.
 30. Farleeva A.F., Garaskina M.N., Sidorov G.M., Grokhotova E.V., Gabdulkhakov R.R. *Kompleksnye inhibitory dlya udaleniya asfal'to-smolistykh i parafinovykh otlozhenii* [Integrated inhibitors for removing asphalt and paraffin sediments tarry]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2017, vol.4, no.2, pp.297-304.