

Н. М. Мамедова (к.х.н., в.н.с.)

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Институт нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева
Министерства науки и образования Азербайджанской Республики,
лаборатория «Исследование антимикробных свойств и биоповреждений»
Республика Азербайджан, AZ 1025, г. Баку, пр. Ходжалы, 30; e-mail: nkpi@nkpi.az

N. M. Mammadova

VEGETABLE OIL BASED CORROSION INHIBITORS

Y. H. Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education
30, Khojaly ave. 30, AZ1025, Baku, Republic of Azerbaijan; e-mail: nkpi@nkpi.az

Показаны результаты исследований в области разработки и получения новых эффективных ингибиторов коррозии на основе жирных кислот и других производных растительных масел. Показаны преимущества и перспективы использования ингибиторов коррозии на основе растительных масел в нефтеперерабатывающей и газохимической промышленности. Кроме того, сообщаются результаты собственных исследований автора, посвященных получению новых производных жирных кислот ряда растительных масел (хлопковое, подсолнечное, кукурузное, пальмовое масла) и возможности их применения в качестве ингибиторов коррозии

Ключевые слова: антикоррозионный эффект; ингибиторы коррозии; растительные масла; скорость коррозии; эффективность ингибирования.

В последние годы одной из ключевых проблем современной нефте- и газоперерабатывающей промышленности является разработка новых эффективных ингибиторов коррозии на базе доступного сырья. В этом направлении стали проводиться исследования по разработке ингибиторов коррозии на базе растительных масел. В этой связи проведено большое количество исследований, результаты которых представлены в настоящей работе. Так, сообщается ¹, что в последнее время исследования в области науки и техники направлены на синтез, проектирование, разработку и потребление экологически безопасных химических веществ для замены традиционных токсичных химических веществ. Это связано с растущими требованиями понимания сохранения и строгих экологических правил. В настоящее время различные экологически чистые альтернативы, полученные из природных ресурсов, таких как биополимеры,

Дата поступления 29.01.23

The presented work shows the results of research in the development and production of new effective corrosion inhibitors based on fatty acids and other derivatives of vegetable oils. The advantages and prospects of using corrosion inhibitors based on vegetable oils in the oil refining and gas chemical industries are shown. In addition, the results of the author's own research on the preparation of new fatty acid derivatives of a number of vegetable oils (cotton, sunflower, corn, palm oils) and the possibility of their use as corrosion inhibitors are reported.

Key words: anti-corrosion effect; corrosion inhibitors; corrosion rate; inhibition efficiency; vegetable oils.

растительные экстракты, химические лекарства и др. широко используются для замены токсичных ингибиторов коррозии.

Обзор литературы показал, что производные жирных кислот, такие как этиловый эфир, этоксид, сульфат, имидазолин, сульфатно-аминная соль, гидразиды, тиосемикарбазиды, фенилгидразиды, триазолы, оксадиазолы, фенилтиосемикарбазид и т. д., были эффективными ингибиторами коррозии мягкой стали в агрессивных средах.

В работе ² представлены результаты исследований по приготовлению ингибиторов коррозии на основе некоторых видов растительных масел с помощью весовых методов потери и линейной поляризации защитной способности синтезированных ингибиторов. Исследована CO₂-содержащая минерализованная среда. Показана сравнительная оценка промышленного ингибитора и синтезированных на основе растительных масел ингибиторов.

Два разных природных растительных масла (масло семян кресс-салата и льняное масло), были химически модифицированы с помощью нового синтеза в одном реакторе для получения амидов, полученных из жирных кислот ³. Они характеризовались своей способностью предотвращать коррозию углеродистой стали в сильно перемешиваемой аэрированной морской воде, одной из самых агрессивных природных сред. Сообщается об эффективности ингибитора коррозии до 99.6% или коэффициенте снижения скорости коррозии 250 в этой среде. Стратегия одnoreакторного синтеза означает, что ингибиторы коррозии можно производить с очень низкими затратами.

В другой работе ⁴ представлен новый одnoreакторный синтез амидов жирных кислот, полученных из натуральных растительных масел. Ряд растительных масел (льняное, подсолнечное, арахисовое, кресс-салат, миндальное и масло канолы) были этерифицированы с помощью реакции переэтерификации. Затем следовало добавление аммиака (NH₃) в условиях кипячения с обратным холодильником для получения соответствующего амида жирной кислоты. За ходом реакции качественно следили с использованием метода тонкослойной хроматографии (ТСХ) с этилацетатом в качестве элюента. Инфракрасную спектроскопию с преобразованием Фурье (FTIR) использовали для исследования различных образцов реакционной смеси с целью определения трансформации функциональной группы. Цель работы состоит в том, чтобы попытаться производить эффективные ингибиторы коррозии по очень низкой цене. Исследования коррозии проводились на продукте реакции без очистки или выделения, опять же для снижения коммерческих затрат. Коррозионные исследования углеродистой стали проводились в интенсивно перемешиваемой аэрированной морской воде, одной из самых агрессивных природных сред. Измерения скорости коррозии регистрировали для определения скорости коррозии по потере массы в течение определенного периода времени (одна неделя). LPr регистрировали с помощью потенциостата Gamry, а потерю массы регистрировали с использованием аналитических весов 0.1 мг. Результаты показали корреляцию между ме-

тодами ТСХ и ИК-Фурье, что свидетельствует об успешном протекании реакции и трансформации функциональных групп.

В табл. 1 авторы показали результаты исследований антикоррозионных свойств амидных производных вышеуказанных масел

В работе ⁵ предложено использовать растительное и животное сырье для получения ингибиторов коррозии нефтеперерабатывающего оборудования. Синтезированы ингибиторы коррозии на основе растительного масла и животного жира с ди- и триэтаноламином, получены азотсодержащие ингибиторы коррозии, определены их физико-химические параметры. Весовым методом определено защитное действие полученных ингибиторов на сталь Ст20 в двухфазной агрессивной среде, моделирующей условия предварительной подготовки нефти на установках электрообессаливания и осушки. Показано, что ингибиторы на основе растительного и животного сырья, полученные при определенных условиях синтеза, способны защищать металлическую поверхность нефтеперерабатывающего оборудования.

В работе ⁶ критически рассматриваются ингибиторы коррозии из экстрактов зеленых растений с особым акцентом на их эффективность. Кроме того, был составлен исчерпывающий список потенциально эффективных растительных экстрактов. Также было исследовано успешное использование встречающихся в природе веществ для ингибирования коррозии металлов в кислой и щелочной среде. Результаты показали, что скорость коррозии мягкой стали в 1 М HCl и 0.5 М H₂SO₄ уменьшается с увеличением концентрации экстрактов бананов. Таким образом, ингибиторы коррозии на основе растительных экстрактов представляют собой надежную экономичную экологически чистую альтернативу ингибиторам коррозии благодаря их доступности и эффективности.

Применение ингибиторов зеленой коррозии, которые снижают скорость коррозии до соответствующего уровня с минимальным воздействием на окружающую среду, является одним из новых ключевых подходов к борьбе с коррозией в современном обществе ⁷. С точки зрения совместности с окружающей средой эта область иссле-

Таблица 1

Антикоррозионные свойства амидных производных растительных масел

Образцы	Количество ингибитора, ppm	Потеря массы, г/см ²	Время, ч	Скорость коррозии, мм/год	Коррозионный эффект, %
Миндальное	1000	0.023	168	0.152	92
Кресс-салат	1000	0.023	168	0.152	92
Льняное	1000	0.016	168	0.106	95
Арахисовое	1000	0.0408	168	0.269	86
Подсолнечное	1000	0.018	168	0.119	94
Контроль	0	0.291	168	1.92	0.0

дований претерпевает значительные изменения. В настоящее время из-за растущей экологической осведомленности ингибиторы коррозии подлежат строгим ограничениям и правилам, применяемым природоохранными агентствами в ряде стран. Согласно этим требованиям, эти химические вещества должны быть экологически приемлемыми и безопасными. В свете этого в последние годы были предприняты интенсивные исследования, направленные на разработку ингибиторов зеленой коррозии из растительных экстрактов. Доступность, недорогие, биоразлагаемые и безопасные вещества делают эти вещества многообещающими альтернативами опасным традиционным ингибиторам коррозии. Цель этой обзорной статьи состоит в том, чтобы кратко обобщить подборку недавних работ по использованию растительных экстрактов в качестве устойчивых и зеленых ингибиторов коррозии. Кроме того, обсуждались преимущества и недостатки использования этих веществ для защиты металлов.

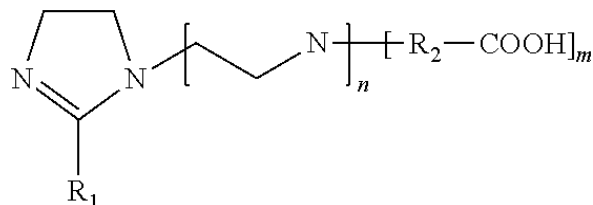
Строгое экологическое законодательство и растущая экологическая осведомленность среди ученых привели к разработке «зеленых» альтернатив для смягчения коррозии. В работе ⁸ был проведен обзор литературы по ингибиторам зеленой коррозии, и были выделены характерные особенности. Среди исследованных листьев экстракт *Andrographis paniculata* показал лучшую эффективность ингибирования (98%), чем экстракт других листьев. *Strychnos nuxvomica* показал лучшее ингибирование (98%), чем другие экстракты семян. *Moringa oleifera* показана как хороший ингибитор коррозии мягкой стали в 1М HCl с эффективностью ингибирования 98% среди исследованных фруктовых экстрактов. *Vasopa monnieri* показала, что ее максимальная эффективность ингибирования составляет 95% при 600 ppm среди исследованных экстрактов стебля. Было обнаружено, что все указанные растительные экстракты ингибируют коррозию мягкой стали в кислой среде.

Использование ингибиторов коррозии является экономически эффективной стратегией уменьшения коррозии углеродистой стали ⁹. Все больше внимания уделяется разработке и использованию недорогих, биоразлагаемых и экологически безопасных составов ингибиторов. Экстракты на растительной основе оценивались во многих исследованиях с использованием множества электрохимических методов и методов характеристики. Хотя растительные экстракты кажутся многообещающими альтернативами коммерчески синтезируемым ингибиторам, требуется значительная оптимизация. Большинство исследований растительных экстрактов не выясняют влияние других синергетических комбинаций в ком-

мерческих составах ингибиторов. Поэтому дальнейшее развитие растительных экстрактов в качестве ингибиторов коррозии представляет значительный интерес.

В статье ¹⁰ исследователи рассмотрели использование ингибиторов зеленой коррозии на основе растительных экстрактов для смягчения коррозии углеродистой стали. В обзоре также обсуждалась их эффективность в предотвращении коррозии, вызванной H₂SO₄, HCl и CO₂.

Изобретение ¹¹ направлено на создание новых ингибиторов коррозии для контроля коррозии трубопроводов из низкоуглеродистой стали, по которым транспортируются различные топливные продукты, полученные на нефтеперерабатывающих заводах или в нефтехимических процессах. Композиция содержит активные ингибиторы имидазолина, полученные из растительного масла, выбранного из группы, состоящей из подсолнечного, рапсового, соевого, сафлорового, кукурузного и их смесей, которые реагируют с полиалкилированными полиаминами, такими как диэтилентриамины (ДЭТА), триэтилтетрамин (ТЭТА) и тетраэтиленпентамин (ТЭПА). Имидазолин реагирует с 1–3 молями карбоновой кислоты, содержащей 2–6 атомов углерода. Полученный продукт готовят с 50–60 % вес. ароматического растворителя и от 10 до 20 % вес. спирта. Композиции оценивали в кислых средах по методам NACE TM0172 и ASTM G 185. В общем случае предложенные ингибиторы коррозии можно представить в следующем виде:



где R₁ – радикал из функциональных групп растительных масел, имеющих C₈–C₂₂ атомов углерода, который может быть насыщенным, мононенасыщенным или полиненасыщенным;

R₂ – алкильный радикал карбоновой кислоты с 2–6 атомами углерода;

$n = 1-3; \quad m = 1-3.$

Молекулы жирных кислот 9,12,15-октадекатриеновой кислоты (C18:3), 9,12-октадекадиеновой кислоты (C18:2) и гексадекановой кислоты (C16:0), обладающие активными функциональными группами со способностью к быстрому переносу электронов предложены для эффективного ингибирования коррозии мягкой стали ¹². В связи с этим микроводоросль *Scenedesmus* выделе-

на, и ее жирные кислоты были изучены, чтобы подтвердить адсорбционное поведение, объясняя антикоррозионную эффективность мягкой стали в 1 М растворе HCl за счет образования каркаса металл–ингибитор. Электрохимический анализ был использован для подтверждения превосходной эффективности ингибирования коррозии при оптимальной концентрации 36 частей на миллион с максимальной эффективностью ингибирования 95.1%. Результаты металлографии с молекулами ингибитора или без него показали значительные изменения в морфологии поверхности образца из мягкой стали с постепенным увеличением времени погружения (72 ч). Было подчеркнуто, что в реакции выделения водорода наблюдается тенденция значительного уменьшения образования пузырьков в присутствии ингибитора по сравнению только с 1 М раствором HCl. Квантово-химические расчеты, выполненные с помощью теории функционала плотности, определили значительную эффективность адсорбции, основанную на донорно-акцепторной способности между металлической поверхностью и молекулами ингибитора.

Ингибирующее действие производных жирных кислот, а именно гидразида пальмитата (РН), гидразида N-этилиденпальмитата (ЕРН) и гидразида N-фенилметиленпальмитата (РРН) на мягкую сталь в 1 М соляной кислоте, исследовали с использованием потенциала разомкнутой цепи, линейной поляризации и электрохимического анализа ¹³ методом импедансной спектроскопии. Было замечено, что эффективность ингибирования возрастала с увеличением концентрации ингибитора и температуры тестируемой среды и достигает максимального значения 85% в присутствии 200 мг/л ингибиторов ЕРН и РРН при 308 ± 1 К. Установлено, что эффективность ингибиторов находится в следующем порядке: РРН > ЕРН > РН. Адсорбция этих ингибиторов на поверхности мягкой стали подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра. Они действуют как ингибиторы смешанного типа.

С использованием биолюминесцентного метода определения внутриклеточной концентрации АТФ исследована биоцидная активность углекислотных ингибиторов коррозии (КИ) на основе жирных кислот различных растительных масел в отношении клеток бактерий, катализирующих процессы биокоррозии ¹⁴. Показано, что все полученные КИ проявляли биоцидную активность, при этом наиболее эффективными были амидные комплексы жирных кислот. Их активность в 4.6 раза превышала активность неамидных комплексов. Установлено, что минимальная ингибирующая концентрация, вызывающая гибель всех групп бактерий, для большинства КИ находится в пределах 100–170 мг/мл, а наилучшие био-

цидные свойства в отношении нефтеокисляющих бактерий рода *Pseudomonas* отмечены для КИ, приготовленный из кукурузного масла (27 мг/мл).

Сообщается ¹⁵, что сталь является самым важным инженерным и строительным материалом в мире. Проблемы коррозии стали привлекли значительное внимание из-за их воздействия на материалы. Коррозия имеет не только экономические последствия, но и социальные, и они связаны с безопасностью и здоровьем людей, работающих на предприятиях или проживающих в близлежащих городах. Использование ингибиторов является одним из наиболее практичных методов защиты от коррозии. Органические соединения исследуются как ингибиторы коррозии, но, к сожалению, большинство из этих соединений не только дороги, но и токсичны для живых существ. Жирные кислоты, извлеченные из растений, стали экологически приемлемым, легкодоступным и возобновляемым источником ингибиторов. Многие молекулы ингибиторов коррозии были синтезированы путем дериватизации жирных кислот, экстрагированных из растительных масел.

Методом выделения водорода при 30, 40, 50 и 60 °C изучены ингибирующие свойства флавоноидов, выделенных из *Gongronema latifolium* (FEGl), и неочищенных спиртовых экстрактов из *Gongronema latifolium* (EEGL) в отношении коррозии мягкой стали в H₂SO₄ ¹⁶. Результаты показали, что экстракты действуют, как хорошие ингибиторы коррозии мягкой стали в 5.0 М растворе H₂SO₄. Было обнаружено, что эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации экстракта и снижается с повышением температуры. Порядок эффективности был EEGL > FEGl. Экспериментальные данные хорошо укладываются в изотерму адсорбции Ленгмюра. На основе данных, полученных для энергий активации ингибированной и неингибированной систем, предложен физический механизм адсорбции экстрактов на поверхности мягкой стали.

Порошок кожуры маниоки (СРР) использовался в качестве ингибитора сырой коррозии для снижения скорости коррозии мягкой стали (MS) (R_c) в кислой среде ¹⁷. Метод потери веса использовали для исследования R_c и эффективности ингибирования (IE) образца из мягкой стали в неингибированном и ингибированном 1.0 М растворе HCl с дозировками СРР 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 и 1.0 г для заданного количества погружения в течение от 24 до 120 ч. Результаты показывают, что ингибирующее действие СРР увеличивалось по мере увеличения доз ингибитора с 0.2 до 1.0 г, но уменьшалось с увеличением времени погружения, что свидетельствует о том, что более длительное время погружения неблагоприятно. Доза СРР 1.0 г дос-

тигла наивысшей эффективности ингибирования 86.77% после 24-часового погружения. Исследование оптимизации с помощью методологии поверхности отклика (RSM) показывает, что оптимальные условия оцениваются при дозировке 1.0 г CPP и периоде погружения 57 ч с эффективностью 87.20%. Термодинамический анализ показал, что процесс ингибирования протекает самопроизвольно и подчиняется изотерме Ленгмюра, а механизм ингибирования склонен к хемосорбции.

Ингибирование коррозии мягкой стали в 0.5 М H_2SO_4 в присутствии этанольного экстракта листьев маниока (*Manihot esculenta*) (ECLE) был исследован с использованием Фурье-трансформационной ИК-спектроскопии, сканирующая электронная микроскопия, а также методов дисперсионной рентгенографии (EDX), потери веса и потенциодинамической поляризации. Результаты показали, что добавление ECLE ингибирует коррозию мягкой стали в 0.5 М H_2SO_4 и действует как хороший ингибитор. Эффективность ингибирования возрастает с увеличением концентрации ECLE и уменьшается с повышением температуры. Адсорбция ECLE на поверхности мягкой стали соответствует изотерме адсорбции Ленгмюра. Поляризационные измерения показали, что ECLE действует как смешанный ингибитор. Значение свободной энергии адсорбции указывало на то, что адсорбция молекул ингибитора типична для физической адсорбции.

В работе ¹⁹, чтобы уменьшить коррозионное воздействие соляной кислоты на мягкую сталь, в качестве ингибитора коррозии был добавлен полярный экстракт кожуры какао *Theobroma*. Коррозионное поведение металла исследовали с помощью статических ускоренных коррозионных испытаний, включающих метод потери веса и электрохимическую поляризацию. Мягкую сталь, содержащую 0.3 % углерода, выдерживали в 1.5 М растворе HCl с 0–2.5 % полярного экстракта *Theobroma cacao* от 48 до 768 ч при комнатной температуре (298 К). Раствор также нагревали от 303 до 323 К в течение 192 ч для получения эффективности ингибирования при более высоких рабочих температурах. Морфологию поверхности образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа. При этом адсорбированную пленку на поверхности мягкой стали измеряли с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье. Результаты коррозионных испытаний показали, что эффективность ингибирования значительно возрастает до 96% с увеличением содержания полярного экстракта *Theobroma cacao*. Однако эффективность ингибирования несколько снижается с повышением температуры. Механизм ингибирования полярного экстракта

Theobroma cacao на поверхности мягкой стали в основном представляет собой химическую адсорбцию, при которой полярный экстракт *Theobroma cacao* отдает пару электронов для образования координационной ковалентной связи с ионами Fe^{2+} , а затем образует металлоорганическое соединение на поверхности мягкой стали. Затем состояние поверхности улучшается благодаря адсорбции для формирования защиты от коррозии. Добавление полярного экстракта *Theobroma cacao* в HCl очень эффективно снижает коррозионное воздействие на мягкую сталь.

Ингибирующие свойства и адсорбция некоторых ингибиторов, синтезированных на основе растительных масел (подсолнечного и хлопкового), на углеродистой стали в растворе, насыщенном CO_2 , исследованы с помощью линейно-поляризационных измерений скорости коррозии и поверхностного натяжения ²⁰. Результаты показали, что все синтезированные ингибиторы являются хорошими ингибиторами и их эффективность ингибирования значительно возрастает с увеличением концентрации поверхностно-активного вещества. Эффективность ингибирования у ПАВ, полученных на основе подсолнечного масла, выше, чем у ПАВ, полученных на основе хлопкового масла при тех же условиях. Установлено, что адсорбция всех ингибиторов на поверхности углеродистой стали подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра. Изменение значений свободной энергии свидетельствует о том, что адсорбция носит химический характер.

В работе ²¹ отработанное растительное масло (триолеин) собирали, очищали, затем подвергали реакции с этаноламином (ЭА) в присутствии ацетата натрия в качестве катализатора. При этом получен (2-гидроксиэтил)-амид октадек-9-еновой кислоты (ODHA) в качестве неионогенного поверхностно-активного вещества, который был выделен и охарактеризован с помощью FT-IR, ^1H ЯМР и оценен как ингибитор коррозии стали в 1 М водной агрессивной среде HCl электрохимическим (потенциодинамическая поляризация) и химическим методами (потеря веса) при различных концентрациях и температуры. Было обнаружено, что эффективность ингибирования возрастает с увеличением концентрации ингибитора и снижается с температурой. Установлено, что адсорбция протекает по изотерме Ленгмюра. Полученные поляризационные кривые свидетельствуют о том, что эти соединения действуют как ингибиторы смешанного типа. Эффективность ингибирования, найденная за счет измерений как поляризации, так и за счет потери веса, хорошо согласовались.

Были приготовлены новые комплексные ПАВ на основе некоторых растительных масел (моноэтаноламиносульфатированные жирные кислоты)²². Химическое строение полученных соединений подтверждено физико-химическими и спектроскопическими методами. Исследуемые ПАВ оценивались как ингибиторы коррозии низкоуглеродистой стали в насыщенном CO_2 1.0 % растворе NaCl. Данные показали, что скорость коррозии снижается, а ингибирование увеличивается при концентрации ингибитора от 10 до 100 ppm. Ингибирование коррозии мягкой стали в CO_2 -насыщенный солевой раствор, содержащий продукт, связывают с адсорбцией ингибиторов на поверхности металла. Установлено, что адсорбция предложенного ингибитора протекает в соответствии с изотермой адсорбции Ленгмюра. Сканирующая электронная микроскопия используется для изучения морфологии поверхности образцов низкоуглеродистой стали как в отсутствие, так и в присутствии исследуемого ингибитора при оптимальных условиях.

В работе²³ методом потери веса исследовано ингибирование коррозии мягкой стали в 0.5 М серной кислоте водным экстрактом листьев тикового дерева *Tectona grandis* L. Механистические аспекты ингибирования коррозии изучались с помощью электрохимических исследований, таких как метод потенциодинамической поляризации и спектроскопия электрохимического импеданса (ЭИС). Замечено, что по мере увеличения концентрации ингибитора скорость коррозии снижается, а эффективность ингибирования возрастает. Это связано с адсорбцией молекул действующих веществ экстракта на поверхности металла. Эта система ингибиторов обеспечивает максимальную эффективность ингибирования 96.70%. Метод потенциодинамической поляризации показывает, что система ингибиторов функционирует как ингибитор смешанного типа, контролируя анодную реакцию и катодную реакцию в равной степени. Отмечено, что в присутствии ингибитора увеличивается значение сопротивления линейной поляризации и уменьшается ток коррозии. Исследования электрохимического импеданса показывают, что на поверхности металла образуется защитная пленка (эффект бланкета), так как в присутствии системы ингибиторов увеличивается значение сопротивления переносу заряда и уменьшается значение емкости двойного слоя. Морфологию поверхности защитной пленки исследовали методами СЭМ и АСМ. Результаты исследования могут быть использованы в травильном производстве, где серная кислота используется для удаления ржавчины с поверхности мягкой стали.

В работе²⁴ изучается разработка новой экономической и экологически чистой рецептуры, полученной из масла семян кактуса *Opuntia dillenii* (FOD), и его применение в качестве ингибитора коррозии для защиты железа, подверженного коррозионным явлениям, которые становятся важными особенно в кислых средах. Физико-химические свойства и анализ жирных кислот масла семян *Opuntia dillenii*, показали, что масло является основным источником ненасыщенных жирных кислот, в частности линолевой кислоты, с содержанием 73.388%. Ингибирующее коррозию действие FOD изучали гравиметрическими методами, электрохимическими измерениями и сканирующей электронной микроскопией в сочетании с элементным анализом (SEM/EDX). Полученные результаты подтвердили, что ФОД ведет себя как хороший смешанный ингибитор коррозии с преимущественной анодной активностью. Эффективность ингибирования ФОД наибольшая, когда концентрация ФОД и время погружения увеличиваются, достигая значений до 99%. FOD образует барьерный слой на поверхности железа и тем самым минимизирует площадь контакта между поверхностью металла и коррозионным раствором.

Экстракцию льняного масла (ЛО) осуществляли дефлегмирующим методом²⁵. Экстрагированное масло идентифицировали методом газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС). Изучен эффект ЛО в качестве зеленого ингибитора коррозии. Ингибирование коррозии ЛО изучали массогабаритным и электрохимическими методами. Полученные результаты показали, что ЛО является эффективным ингибитором коррозии углеродистой стали в 1М растворе HCl. Эффективность ингибирования увеличивалась с увеличением концентрации и достигала 88% при 200 ppm. Кроме того, установлено, что адсорбция ингибитора на поверхности металла в 1 М растворе HCl подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра. Влияние температуры изучалось также в диапазоне от 298 до 328 К.

В работе²⁶ описано приготовление ингибитора коррозии из касторового масла для трубопровода из углеродистой стали в два этапа; первая стадия включает сульфирование касторового масла, а вторая стадия включает аминирование сульфонового касторового масла раствором аммиака, конечный продукт характеризуется FTIR. Исследована эффективность синтезированных соединений в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали; в пласте воду исследовали электрохимическими методами с использованием методов Тафеля. Синтезированные соединения показали повышение эффективности ингибирования, пос-

ле чего было изучено влияние температуры на эффективность ингибирования.

Citrullus lanatus был испытан на его пригодность в качестве ингибитора мягкой углеродистой стали в оксиде углерода (IV) насыщенном солевом растворе²⁷. Механизм коррозии был исследован с добавкой ингибитора и без нее, чтобы сравнить эффективность ингибитора. Термодинамические расчеты, а именно энтальпия, энтропия и свободная энергия Гиббса, использовались для определения ингибирующего свойства экстракта семян арбуза *Citrullus lanatus*. Кроме того, четыре кинетических модели, а именно; Ленгмюра, Темкина, Флори-Хаггинса и Фрумкина также использовались для подгонки экспериментальных данных. Для характеристики экстракта семян арбуза использовали газовую хроматографию-масс-спектроскопию и ИК-спектроскопию с переносом Фурье. Анализ результатов показывает, что эффективность ингибитора снижается с повышением температуры. Результат также показывает эффективность ингибирования в диапазоне от 17.39 до 71.79 %. В результате образец без ингибитора имеет наименьшую энергию активации по сравнению с образцами с добавками ингибитора. Исследование также показало, что модель Фрумкина лучше всего соответствует экспериментальным данным с коэффициентом детерминации R^2 99.9%, однако остальные модели также соответствуют экспериментальным данным.

Экстрагированный липид семян кресс-салата *Lepidium sativum* L исследовали на содержание жирных кислот²⁸. Олеиновая (22.03 г/100 г) и линоленовая (29.22 г/100 г) кислоты преобладали среди ненасыщенных жирных кислот, в то время как пальмитиновая кислота (8.03 г/100 г) была найдена в качестве основной насыщенной кислоты. Ингибирование коррозии углеродистой стали в солянокислой среде на масле *Lepidium sativum* L изучали методом потери веса, спектроскопии электрохимического импеданса (EIS) и Tafel поляризационного метода. Установлено, что ингибирование возрастает с увеличением концентрации масла, но уменьшается с температурой. Поляризационные кривые показали, что масло *Lepidium sativum* L ведет себя как ингибитор смешанного типа. Адсорбция масла на поверхности углеродистой стали подчинялась закону изотерме адсорбции Ленгмюра. Термодинамические параметры активационных процессов были рассчитаны и обсуждены. Значения эффективности ингибирования, рассчитанные по потере веса, потенциодинамической поляризации и электрохимической импеданс спектроскопии хорошо согласуются.

Авторы работы²⁹ акцентируют внимание на то, что коррозия в промышленных конструкциях вызвала большие опасения в отношении материальных потерь, особенно при добыче нефти. Органические молекулы могут действовать как ингибиторы, поскольку они могут адсорбироваться на границе раздела металл-раствор, замещая молекулы воды и тем самым препятствуя растворению металла. В целом производные имидазолина имеют уникальную структуру, которая делает их эффективными ингибиторами коррозии в среде CO_2 . Касторовое масло является единственной ненасыщенной жирной кислотой, встречающейся в натуральных растительных маслах с функциональной гидроксильной группой в положении 12С. Наличие групп ОН в цепях жирных кислот делает масло необычайно полярным. Поэтому, исходя из его молекулярной структуры, касторовое масло или его производные можно использовать в качестве эффективного ингибитора коррозии. В качестве ингибитора использовали производное гидроксиэтилимидазолина на основе касторового масла. Используемые концентрации ингибитора составляли 5, 10, 25, 50 и 100 частей на миллион. В качестве коррозионного раствора использовалась смесь, насыщенная CO_2 (90:10, 3% раствор NaCl и дизельное топливо) при 50 °С. Коррозионные испытания проводились с помощью мониторинга в реальном времени и измерений EIS. Мониторинг в режиме реального времени показал, что имидазолин на основе касторового масла обладает эффективностью ингибирования более 99%. Из измерений EIS были получены два разных поведения. Эволюция спектров ЭИС была одинаковой для добавок 5, 10 и 25 м.д., а для 50 и 100 м.д. – различной. Для 5, 10 и 25 частей на миллион эволюция спектра в высокочастотной области была характерным отпечатком самоорганизующихся имидазолинов на масляной основе. Однако для 50 и 100 частей на миллион через 9 ч постоянная времени уменьшалась с течением времени. Такое поведение может быть связано с наличием функциональных групп в маслянистом хвосте, которые имеют тенденцию взаимодействовать с металлической поверхностью, образуя более плотную ингибиторную пленку.

Весьма желательно разработать экологичные и устойчивые ингибиторы коррозии для меди в коррозионной морской среде. В работе³⁰ авторы изучили амидин на основе жирных кислот как новый тип возобновляемого ингибитора коррозии. Стеарамидиновую соль использовали в качестве модельного ингибитора, и она была синтезирована через промежуточное соединение стеаронитрила с превосходным выходом выделения 88%. Авторы использовали электрохимические (потенци-

одинамическая поляризация) и морфологические (сканирующая электронная микроскопия) измерения для оценки эффективности ингибирования коррозии стеарамидином в 3.0% мас. NaCl при 300 К. Показано, что в таких условиях оптимальная эффективность ингибирования 96% достигается с использованием только 0.2 мМ стеарамидина. Результаты показали, что жирный амидин является многообещающим ингибитором коррозии меди, подходящим для экосистемы морской воды. Определены термодинамические параметры взаимодействия стеарамидина с поверхностью меди, полученные результаты свидетельствуют о том, что процесс адсорбции протекает в соответствии с изотермой адсорбции Ленгмюра и включает как физическую, так и хемосорбцию.

В работе³¹ основное внимание уделяется использованию натурального масла петрушки в качестве безопасного, экологически чистого и экономичного ингибитора растворения углеродистой стали X80 (X80CS) в 0.5 М растворе H₂SO₄. Электрохимические и химические измерения и теоретические исследования использовались для определения ингибирующей силы масла петрушки. Эффективность ингибирования увеличивается с увеличением концентрации масла петрушки и снижением температуры. Она достигает 95.68% при 450 ppm масла петрушки. Процесс ингибирования объясняется самопроизвольной адсорбцией масла на X80CS. Адсорбция описывается моделью изотермы Ленгмюра. Данные поляризации показывают, что масло петрушки классифицируется как смешанный ингибитор с доминирующим контролем катодной реакции. Масло петрушки ингибирует точечную коррозию X80CS в присутствии раствора NaCl, переводя потенциал точечной коррозии в более положительный режим, что указывает на защиту от точечной коррозии. Рассчитаны и интерпретированы термодинамические параметры активации и адсорбции. Четыре химических компонента в натуральном масле петрушки были исследованы с использованием теории функционала плотности (DFT). Моделирование методом Монте-Карло (MC) было выполнено для изучения адсорбции масла петрушки на поверхности X80CS. Результаты подтвердили, что молекула апиола является наиболее эффективной в процессе ингибирования.

Эффективность ингибитора амида жирной кислоты, синтезированного из масла кофейного жмыха, была оценена с помощью электрохимических методов, таких как потенциодинамические поляризационные кривые, измерения потенциала разомкнутой цепи, сопротивление линейной поляризации и спектроскопия электрохимического импеданса³². Концентрации ингибитора состав-

ляли 0, 5, 10, 25, 50 и 100 частей на миллион. Эффективность ингибитора оценивали на стали X70 в соляном растворе, насыщенном CO₂, при 60 °C. Все различные методики показали снижение значений катодной плотности тока и эффективности ингибитора до 96%. Ингибитор химически адсорбировался на стали в соответствии с анализом процесса адсорбции ингибитора.

Ингибиторы коррозии были получены путем этоксилирования четырех коммерчески доступных смесей ненасыщенных жирных кислот: таллового масла, соевого масла, хлопкового масла и льняного масла³³. Полученные соединения имеют общую формулу R–COO–(CH₂CH₂O)_n–H, где R в основном представляет собой смесь C₁₇H₂₉, C₁₇H₃₁ и C₁₇H₃₃ и *n* равно 20 молям этиленоксида на моль жирной кислоты. Они имеют почти одинаковый гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ), который определяет большую часть их поверхностной активности, но различаются по составу жирных кислот. Синтезированные соединения обеспечивают удовлетворительное ингибирование стали в соляной кислоте при температуре до 80 °C. Этоксилат льняного масла является наиболее эффективным ингибитором из-за высокого содержания в нем линоленовой кислоты, имеющей три двойные связи. Поляризационные измерения показывают, что добавки действуют как ингибиторы смешанного типа.

Реакция алюминиевых образцов, погруженных в соленую воду и 1 М водный раствор уксусной и серной кислот в отношении антикоррозионного действия была исследована для масла, полученного местным способом из семян арбуза³⁴. Зеркально полированные алюминиевые образцы диаметром 10 мм и длиной 20 мм погружали в партии пластиковых стаканов, содержащих по 50 мл соленой воды и растворов кислот с концентрацией масла из семян арбуза по массе 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 и 2.0 %. Метод потери веса использовался для контроля скорости коррозии образцов в течение 240 ч. Результаты показали, что разумная коррозия и ингибирование происходило в образцах, погруженных в растворы серной и уксусной кислот. Весовые потери в образцах, погруженных в соленую воду, были очень минимальными и находились за пределами обнаружения. Среднестатистические сокращения на 26, 1.5, 2 и 16 % скорости коррозии были достигнуты соответственно при добавках 0.5, 1.0, 1.5 и 2.0 % масла арбузных косточек для образцов, погруженных в серную кислоту, а для алюминия в растворах уксусной кислоты было достигнуто снижение на 20%. Исследованное масло более быстро ингибирует уксусную кислоту, чем серную.

Масло тропического растения жожоба бромировали с использованием брома, затем синтезировали три аминированных производных жожоба путем аминирования бромированного масла жожоба различными типами аминов (анилин, 2,4-диметиланилин и 4-аминобензойная кислота). Полученные соединения исследовали с помощью FT-IR и $^1\text{H-NMR}$. Поведение аминированных производных жожоба было исследовано в качестве ингибиторов коррозии при различных температурах (308, 318, 328 и 338 К) для низкоуглеродистой стали с использованием 0.5 н. HCl методом потери массы и методом химического анализа. Полученные составы проявляют антикоррозионные свойства для низкоуглеродистой стали в кислой среде; ингибитор коррозии на основе 2,4-диметиланилина проявляет отличные антикоррозионные свойства ³⁵.

Антикоррозионное действие экстрагированного масла из семян арбуза на мягкую сталь А36 в среде 1 М H_2SO_4 при температуре реакции коррозии 305 и 319 К изучали в работе ³⁶. Потерю веса и эффективность ингибирования определяли гравиметрическим методом, а скорость коррозии и эффективность ингибирования оценивали с помощью потенциодинамических тестов. Гравиметрические испытания показали, что ингибитор масла из семян арбуза достиг лучшей эффективности ингибирования коррозии на 50 % при рабочей температуре 305 К по сравнению с эффективностью 48%, полученной при рабочей температуре 319 К. Электрохимические потенциодинамические поляризационные испытания показали, что 3% об. концентрации ингибитора дала наиболее многообещающие результаты ингибирования коррозии при рабочей температуре 305 К, тогда как концентрация ингибитора 4% об. дала наиболее надежную коррозионностойкую реакцию при рабочей температуре 319 К. Средние отрицательные значения $\Delta G_{\text{адс}}$ выявили спонтанный характер адсорбции ингибитора на поверхности мягкой стали, а результаты электрохимической потенциодинамической поляризации показали, что масло

семян арбуза действует как ингибитор коррозии смешанного типа. Анализ оптического изображения выявил как эффективность масла из семян арбуза в качестве ингибитора, так и оптимальные концентрации ингибитора 3% об. (при 305 К) и 4% об. (при 319 К).

В работе ³⁷ исследуется синергетическое использование *Theobroma cacao* (какао) и *Elaeis guineensis* (пальмовое масло) в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали в 0.5 моль/л раствора соляной кислоты, в отсутствие и в присутствии различных концентраций смеси исследуемых соединений. Эффективность ингибиторов коррозии изучали с помощью гравиметрических испытаний, а коррозионную стойкость – с помощью электрохимических испытаний, таких как спектроскопия электрохимического импеданса (ЭИС) и поляризационные кривые. Химический состав порошка коры какао и порошка жмыха косточек пальмы оценивали с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Результаты гравиметрических испытаний показали эффективность ингибирования 79% для порошка коры какао и 76% для порошка жмыха из косточек пальмы, однако смесь соединений продемонстрировала ингибирование выше 94%, что свидетельствует о большом синергизме между изучаемыми видами.

В лабораториях Института Нефтехимических процессов также проведены широкие исследования в этой области. В наших работах ^{38–40} были синтезированы металлические соли и имидазолиновые комплексы на основе жирных кислот, выделенных из состава растительных масел, в частности, хлопкового, подсолнечного, кукурузного и пальмового масел. Эти комплексы были испытаны в качестве ингибиторов коррозии в составе турбинного масла Т-30. Показано, что полученные комплексы обладают высоким защитным антикоррозионным эффектом и могут быть рекомендованы в качестве ингибиторов коррозии для нефтеперерабатывающей промышленности.

Литература

1. Verma C., Ebenso E., Quraishi M.A., Mustansar C. Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications // *Material Advances*. – 2021. – V.12, №2. – Pp.3806-3850.
2. Abbasov V.M., Aliyeva L.I., Hany A. New type of inhibitors of carbon dioxide corrosion on the basis of vegetable oils // *PPOR*. – 2014. – V.15, №3. – Pp.179-192.
3. Rostron P., Kasshanua S. Novel Synthesis of Vegetable Oil Derived Corrosion Inhibitors // *International Journal of Corrosion*. – 2015. – V.8, №2. – Pp.131-137.

References

1. Verma C., Ebenso E., Quraishi M.A., Mustansar C. [Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications]. *Material Advances*, 2021, vol.12, no.2, pp.3806-3850.
2. Abbasov V.M., Aliyeva L.I., Hany A. [New type of inhibitors of carbon dioxide corrosion on the basis of vegetable oils]. *PPOR*, 2014, vol.15, no.3, pp.179-192.
3. Rostron P., Kasshanua S. [Novel Synthesis of Vegetable Oil Derived Corrosion Inhibitors]. *International Journal of Corrosion*, 2015, vol.8, no.2, pp.131-137.

4. Kasshanna S., Rostron P. Novel Synthesis and Characterization of Vegetable Oil Derived Corrosion Inhibitors // *Journal of Materials and Environmental Science*.– 2017.– V.8, №12.– Pp.4292-4300.
5. Topilnytsky P., Romanchuk V., Yarmola T. Production of Corrosion Inhibitors for Oil Refining Equipment Using Natural Components // *Chemistry and Chemical Technology*.– 2018.– V.12, №3.– Pp.400-404.
6. Badawi A.K., Fahim I.S. A critical review on green corrosion inhibitors based on plant extracts: Advances and potential presence in the market // *International Journal of Corrosion Scale Inhib.*– 2021.– V.10, №4.– Pp.1385-1406.
7. Zakeri A., Bahmani E., Sabour A., Aghdam R. Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review // *Corrosion Communications*.– 2022.– V.5, №2.– Pp.25-38.
8. Singh A., Ebenso E., Quraishi M.A. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Some Plant Extracts // *International Journal of Corrosion*.– 2012.– №2.– Pp.124-128.
9. Fazai B., Becker T., Kinsella B., Lepkova K. A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO₂ corrosion of carbon steel // *Material Degradations*, 2022.– V.6, №5.– Pp.3634-3641.
10. Surbhi J. Using Plant Extracts to Prevent Carbon Steel Corrosion // *Material Degradations*.– 2022.– V.9, №2.– Pp.347-352.
11. Patent №20170029960A1 US. Corrosion inhibitor derived from vegetable oils and it's process of obtaining / Benitez J.L., Cervantes A.T., Martinez A.E., Ordonez N.N. / Опубл. 20.06.2017.
12. Khanra A., Srivastava M., Prakash Rai M., Prakash R. Application of Unsaturated Fatty Acid Molecules Derived from Microalgae toward Mild Steel Corrosion Inhibition in HCl Solution: A Novel Approach for Metal-Inhibitor Association // *ACS Omega*.– 2018.– V.3, №10.– Pp.12369-12382.
13. Mobil N.K., Ghazali M.J., Yeong S.K., Azowa I. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution using fatty acid derivatives // *Journal of Oil Palm Research*.– 2017.– V.29, №1.– Pp.97-109.
14. Ismayilov I.T., Stepanov N.A., Efremenko E.N., Abbasov V.M. Evaluation of biocidal properties of vegetable oil-based corrosion inhibitors using bioluminescent enzymatic method // *Moscow University Chemistry Bulletin*.– 2015.– V.70.– Pp.197-201.
15. Swathi P., Kedila R., Seranthimata S., Vijava A. Fatty acids and its Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel – An Overview // *Novel Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for steel in concrete*.– 2017.– №2.– Pp.308-345.
16. Ikeuba I., Ita B., Okafor P., Ugi B.U. Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel in H₂SO₄ Solution: Comparative Study of Flavonoids Extracted from *Gongronema Latifolium* with Crude the Extract // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*.– 2015.– V.51.– №6.– Pp.1043-1049.
17. Khuza I., Sobri Sh., Nabilah H. Corrosion Inhibition Of Mild Steel By Cassava Peel Powder In Hydrochloric Acid Medium // *Journal of Applied Science and Technology*.– 2022.– V.26, №2.– Pp.489-495.
18. Gusti D.P., Admin A., Efdi M. Corrosion Inhibition of Ethanol Extract of *Cassava (Manihot esculenta)*
4. Kasshanna S., Rostron P. [Novel Synthesis and Characterization of Vegetable Oil Derived Corrosion Inhibitors]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2017, vol.8, no.12, pp.4292-4300.
5. Topilnytsky P., Romanchuk V., Yarmola T. [Production of Corrosion Inhibitors for Oil Refining Equipment Using Natural Components]. *Chemistry and Chemical Technology*, 2018, vol.12, no.3, pp.400-404.
6. Badawi A.K., Fahim I.S. [A critical review on green corrosion inhibitors based on plant extracts: Advances and potential presence in the market]. *International Journal of Corrosion Scale Inhib.*, 2021, vol.10, no.4, pp.1385-1406.
7. Zakeri A., Bahmani E., Sabour A., Aghdam R. [Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review]. *Corrosion Communications*, 2022, vol.5, no.2, pp.25-38.
8. Singh A., Ebenso E., Quraishi M.A. [Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Some Plant Extracts]. *International Journal of Corrosion*, 2012, no.2, pp.124-128.
9. Fazai B., Becker T., Kinsella B., Lepkova K. [A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO₂ corrosion of carbon steel]. *Material Degradations*, 2022, vol.6, no.5, pp.3634-3641.
10. Surbhi J. [Using Plant Extracts to Prevent Carbon Steel Corrosion]. *Material Degradations*, 2022, vol.9, no.2, pp.347-352.
11. Benitez J.L., Cervantes A.T., Martinez A.E., Ordonez N.N. [Corrosion inhibitor derived from vegetable oils and it's process of obtaining]. Patent US no.20170029960A1, 2017.
12. Khanra A., Srivastava M., Prakash Rai M., Prakash R. [Application of Unsaturated Fatty Acid Molecules Derived from Microalgae toward Mild Steel Corrosion Inhibition in HCl Solution: A Novel Approach for Metal-Inhibitor Association]. *ACS Omega*, 2018, vol.3, no.10, pp.12369-12382.
13. Mobil N.K., Ghazali M.J., Yeong S.K., Azowa I. [Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution using fatty acid derivatives]. *Journal of Oil Palm Research*, 2017, vol.29, no.1, pp.97-109.
14. Ismayilov I.T., Stepanov N.A., Efremenko E.N., Abbasov V.M. [Evaluation of biocidal properties of vegetable oil-based corrosion inhibitors using bioluminescent enzymatic method]. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 2015, vol.70, pp.197-201.
15. Swathi P., Kedila R., Seranthimata S., Vijava A. [Fatty acids and its Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel – An Overview]. *Novel Heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for steel in concrete*, 2017, no.2, pp.308-345.
16. Ikeuba I., Ita B., Okafor P., Ugi B.U. [Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel in H₂SO₄ Solution: Comparative Study of Flavonoids Extracted from *Gongronema Latifolium* with Crude the Extract]. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2015, vol.51, no.6, pp.1043-1049.
17. Khuza I., Sobri Sh., Nabilah H. [Corrosion Inhibition Of Mild Steel By Cassava Peel Powder In Hydrochloric Acid Medium]. *Journal of Applied Science and Technology*, 2022, vol.26, no.2, pp.489-495.
18. Gusti D.P., Admin A., Efdi M. [Corrosion Inhibition of Ethanol Extract of *Cassava (Manihot esculenta)* Leaves

- Leaves on Mild Steel in Sulfuric Acid // *International Journal of Chem. Tech. Research.* – 2017. – V.10, №2. – Pp.163-171.
19. Yetri Y., Emriadi E., Jamarun N., Gunawarman G. Corrosion Inhibitor of Mild Steel by Polar Extract of *Theobroma cacao* Peels in Hydrochloric Acid Solution // *Asian Journal of Chemistry.* – 2015. – V.27, №3. – Pp.875-881.
 20. Abbasov V.M., Hany A., Aliyeva L.I., Ismayilov I.T. Development of novel anionic surfactants based on different vegetable oils for protection of carbon steel from CO₂ corrosion // *Material Science An Indian Journal.* – 2013. – V.9, №2. – Pp.41-49.
 21. Hameed A. Recycling of the used cooking oils as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid corrosive medium // *Advances in Applied Sciece Research.* – 2016. – V.7, №2. – Pp.92-102.
 22. Abbasov V.M., Hany A., Aliyeva L.I., Ismayilov I.T. Evaluation of New Complex Surfactants Based on Vegetable Oils as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in CO₂-Saturated 1.0% NaCl Solutions // *Journal of Materials Physics and Chemistry.* – 2013. – V.1, №2. – Pp.19-26.
 23. Karthikeyan S., Abuthahir S., Begum A.S., Rajendran S. Inhibition of mild steel corrosion in 0.5 M sulfuric acid by an aqueous extract of leaves of *Tectona grandis* L. plant // *International Journal of Coorosion and Scale Inhibition.* – 2021. – V.10, №4. – Pp.1531-1546.
 24. Rehioui M., Abbout S., Benzidia B., Hammouch H. Corrosion inhibiting effect of a green formulation based on *Opuntia Dillenii* seed oil for iron in acid rain solution // *Heliyon.* – 2021. – V.7, №4. – Pp.6674-6681.
 25. Gharda N., Galai M., Sagalli L., Habbadi N. Linseed oil as a novel eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in 1 M HCl // *Surface Review and Letters.* – 2018. – V.26, №2. – Pp.342-347.
 26. Hikmat A.R. Modification of Castor Oil and Study Its Efficiency as Corrosion Inhibitors in Formation Water Media // *Engineering.* – 2017. – V.9, №3. – Pp.254-262.
 27. Afoegba C., Kingsley A., Abidall O. The Use of Citrullus Lanatus for Corrosion Inhibition of A36 Steel in a CO₂ Saturated Saline Solution: A Thermodynamic and Kinetic Model Approach // *International Journal of Advances in Scientific Research and Technology.* – 2020. – V.6, №12. – Pp.265-272.
 28. Chatoul K., Echihi S., Harhar H., Zarrouk A. An investigation of carbon steel corrosion inhibition in 1M HCl by *Lepidium sativum* oil as green inhibitor // *Journal of Material Environ. Science.* – 2018. – V.9, №2. – Pp.1211-1223.
 29. Godavarthi S., Porcayo-Calderon J., Csaes-Diaz M., Neri A. Electrochemical Analysis and Quantum Chemistry of Castor Oil-Based Corrosion Inhibitors // *Current Analytical Chemistry.* – 2016. – V.12, №6. – Pp.476-488.
 30. Alim Z., Darmawan N., Dawolo J., Bramastya Y. Fatty Amidine as Copper Corrosion Inhibitor // *Journal of Chemistry.* – 2020. – V.35, №3. – Pp.451-459.
 31. Abdallah M., Soliman K.A., Jahdaly B.A., Al-Fahemi J.H. Natural parsley oil as a green and safe inhibitor for corrosion of X80 carbon steel in 0.5 M H₂SO₄ solution: a chemical, electrochemical, DFT and MC simulation approach // *RSC Advances.* – 2022. – V.12, №5. – Pp.2959-2971.
 - on Mild Steel in Sulfuric Acid]. *International Journal of Chem. Tech. Research*, 2017, vol.10, no.2, pp.163-171.
 19. Yetri Y., Emriadi E., Jamarun N., Gunawarman G. [Corrosion Inhibitor of Mild Steel by Polar Extract of *Theobroma cacao* Peels in Hydrochloric Acid Solution]. *Asian Journal of Chemistry*, 2015, vol.27, no.3, pp.875-881.
 20. Abbasov V.M., Hany A., Aliyeva L.I., Ismayilov I.T. [Development of novel anionic surfactants based on different vegetable oils for protection of carbon steel from CO₂ corrosion]. *Material Science An Indian Journal*, 2013, vol.9, no.2, pp.41-49.
 21. Hameed A. [Recycling of the used cooking oils as corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid corrosive medium] *Advances in Applied Sciece Research*, 2016, vol.7, no.2, pp.92-102.
 22. Abbasov V.M., Hany A., Aliyeva L.I., Ismayilov I.T. [Evaluation of New Complex Surfactants Based on Vegetable Oils as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in CO₂-Saturated 1.0% NaCl Solutions]. *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 2013, vol.1, no.2, pp. 19-26.
 23. Karthikeyan S., Abuthahir S., Begum A.S., Rajendran S. [Inhibition of mild steel corrosion in 0.5 M sulfuric acid by an aqueous extract of leaves of *Tectona grandis* L. plant]. *International Journal of Coorosion and Scale Inhibition*, 2021, vol.10, no.4, pp.1531-1546.
 24. Rehioui M., Abbout S., Benzidia B., Hammouch H. [Corrosion inhibiting effect of a green formulation based on *Opuntia Dillenii* seed oil for iron in acid rain solution]. *Heliyon*, 2021, vol.7, no.4, pp.6674-6681.
 25. Gharda N., Galai M., Sagalli L., Habbadi N. [Linseed oil as a novel eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in 1 M HCl]. *Surface Review and Letters*, 2018, vol.26, no.2, pp.342-347.
 26. Hikmat A.R. [Modification of Castor Oil and Study Its Efficiency as Corrosion Inhibitors in Formation Water Media] *Engineering*, 2017, vol.9, no.3, pp.254-262.
 27. Afoegba C., Kingsley A., Abidall O. [The Use of Citrullus Lanatus for Corrosion Inhibition of A36 Steel in a CO₂ Saturated Saline Solution: A Thermodynamic and Kinetic Model Approach]. *International Journal of Advances in Scientific Research and Technology*, 2020, vol.6, no.12, pp.265-272.
 28. Chatoul K., Echihi S., Harhar H., Zarrouk A. [An investigation of carbon steel corrosion inhibition in 1M HCl by *Lepidium sativum* oil as green inhibitor]. *Journal of Material Environ. Science*, 2018, vol.9, no.2, pp.1211-1223.
 29. Godavarthi S., Porcayo-Calderon J., Csaes-Diaz M., Neri A. [Electrochemical Analysis and Quantum Chemistry of Castor Oil-Based Corrosion Inhibitors]. *Current Analytical Chemistry*, 2016, vol.12, no.6, pp.476-488.
 30. Alim Z., Darmawan N., Dawolo J., Bramastya Y. [Fatty Amidine as Copper Corrosion Inhibitor]. *Journal of Chemistry*, 2020, vol.35, no.3, pp.451-459.
 31. Abdallah M., Soliman K.A., Jahdaly B.A., Al-Fahemi J.H. [Natural parsley oil as a green and safe inhibitor for corrosion of X80 carbon steel in 0.5 M H₂SO₄ solution: a chemical, electrochemical, DFT and MC simulation approach]. *RSC Advances*, 2022, vol.12, no.5, pp.2959-2971.

32. Gomez-Guzman N.B., Escalera D.M., Porcayo-Calderon J., Gonzalez-Rodriguez J.G. Performance of an amide-based inhibitor derived from coffee bagasse oil as corrosion inhibitor for X70 steel in CO₂-saturated brine // *Green Chemistry Letters and Reviews*. – 2019. – V.12, №1. – Pp.49-60.
33. Hanna F., Sherbini G.M., Barakat Y. Commercial fatty acid ethoxylates as corrosion inhibitors for steel in pickling acids // *British Corrosion Journal*. – 1989. – V.24, №4. – Pp.269-272.
34. Ademoh N.A. Inhibition Characteristics of Watermelon Oil on Aluminium in Acids and Saline Water // *Aus. Journal of Technology*. – 2012. – V.15, №4. – Pp.265-272.
35. Nasser R. Investigation of the Behavior of Aminated Jojoba Derivatives as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel at 0.5 N HCl // *Der Chemica Sinica*. – 2017. – V.8, №1. – Pp.123-132.
36. Ayola A., Auta-Joshua N., Durodola B.M., Omodara O.J. Combating A36 mild steel corrosion in 1M H₂SO₄ medium using watermelon seed oil inhibitor // *AIMS Materials Science*. – 2021. – V.8, №1. – Pp.130-143.
37. Barreto L.S., Santos T.F., De Alneida D.R., Silva R. Application of a Mix of Vegetables Residues as Inhibitor for Carbon Steel // *Material Research*. – 2022. – V.25. – Pp.440-445.
38. Мамедова Н.М., Аббасов В.М., Мамедбейли Э.Г. Действие неорганических комплексов, синтезированных на основе пальмового масла против атмосферной и сероводородной коррозии // *Практика противокоррозионной защиты*. – 2018. – №1. – С.44-50.
39. Аббасов В.М., Мамедбейли Э.Г., Мамедова Н.М., Агамалиева Д.Б. Получение композиций на основе имидазолиновых жирных кислот растительного происхождения и солей металлов и изучение их свойства // *Нефтепереработка и нефтехимия*. – 2017. – №10. – С.42-46.
40. Аббасов В.М., Мамедбейли Э.Г., Агамалиева Д.Б., Эфендиева Л.М., Мамедова Н.М. Синтез производных имидазолинов на основе синтетических нефтяных кислот и их влияние на микробиологических коррозии // *Практика противокоррозионной защиты*. – 2018. – №1. – С.17-23.
32. Gomez-Guzman N.B., Escalera D.M., Porcayo-Calderon J., Gonzalez-Rodriguez J.G. [Performance of an amide-based inhibitor derived from coffee bagasse oil as corrosion inhibitor for X70 steel in CO₂-saturated brine]. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2019, vol.12, no.1, pp.49-60.
33. Hanna F., Sherbini G.M., Barakat Y. [Commercial fatty acid ethoxylates as corrosion inhibitors for steel in pickling acids]. *British Corrosion Journal*, 1989, vol.24, no.4, pp.269-272.
34. Ademoh N.A. [Inhibition Characteristics of Watermelon Oil on Aluminium in Acids and Saline Water]. *Aus. Journal of Technology*, 2012, vol.15, no.4, pp.265-272.
35. Nasser R. [Investigation of the Behavior of Aminated Jojoba Derivatives as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel at 0.5 N HCl]. *Der Chemica Sinica*, 2017, vol.8, no.1, pp.123-132.
36. Ayola A., Auta-Joshua N., Durodola B.M., Omodara O.J. [Combating A36 mild steel corrosion in 1 M H₂SO₄ medium using watermelon seed oil inhibitor]. *AIMS Materials Science*, 2021, vol.8, no.1, pp.130-143.
37. Barreto L.S., Santos T.F., De Alneida D.R., Silva R. [Application of a Mix of Vegetables Residues as Inhibitor for Carbon Steel]. *Material Research*, 2022, vol.25, pp.440-445.
38. Mamedova N.M., Abbasov V.M., Mamedbeyli E.H. *Deystvie neorganicheskikh kompleksov, sintezirovannykh na osnove pal'movogo masla protiv atmosfernoy i serovodorodnoy korrozii* [Effect of inorganic complexes synthesized on the basis of palm oil against atmospheric and hydrogen sulfide corrosion]. *Praktika protivokorroziionnoy zashity* [Practice of anti-corrosion protection], 2018, no.1, pp.44-50.
39. Abbasov V.M., Mamedbeyli E.H., Mamedova N.M., Agamaliyeva D.B. *Poluchenie kompozitsiy na osnove imidazolinovykh zhirnykh kislot rastitelnogo proiskhojdeniya i soley metallov i izuchenie ikh svoystv* [Preparation of compositions based on imidazoline fatty acids of plant origin and metal salts and study of their properties]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2017, no.10, pp 42-46.
40. Abbasov V.M., Mamedbeyli E.H., Mamedova N.M., Agamaliyeva D.B., Efendiyeva L.M. *Sintez proizvodnykh imidazolinov na osnove sinteticheskikh neftyanykh kislot I ikh vliyaniye na mikrobiologicheskuyu korroziyu* [Synthesis of imidazoline derivatives based on synthetic petroleum acids and their effect on microbiological corrosion]. *Praktika protivokorroziionnoy zashity* [Practice of anti-corrosion protection], 2018, no.1, pp.17-23.