



Оригинальные статьи

Научная статья

УДК 620.193+547.792

Научная специальность ВАК – 1.4.3. Органическая химия; 1.4.4. Физическая химия

<https://doi.org/10.17308/kcmf.2025.27/13017>

Синтез производных 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[1,5-*a*]пиримидин-7-олов из растительных масел и их эффективность как ингибиторов солянокислотной коррозии стали

А. А. Кружилин[✉], Д. С. Шевцов, И. А. Дмитриев, М. А. Потапов, Х. С. Шихалиев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Университетская пл., 1, Воронеж 394018, Российская Федерация

Аннотация

Цель статьи: Разработан метод синтеза новых производных 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[1,5-*a*]пиримидин-7-ола из растительных масел (подсолнечного, пальмового, кокосового).

Экспериментальная часть: Новизна метода заключается в использовании возобновляемого сырья – растительных масел, а также в том, что метод является *one-pot*-процессом и включает гидролиз масла, взаимодействие образовавшихся *in situ* жирных кислот с аминогуанидинбикарбонатом и последующую щелочную циклизацию до смеси 3-алкил-5-амино-1*H*-1,2,4-триазолов, которые в дальнейшем были идентифицированы методом ВЭЖХ/МС. На втором этапе на основе данных смесей триазолов в результате их двустадийной конденсации с коричневым альдегидом в среде амфотерного ПАВ получены целевые 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-*a*]пиримидин-7-олы подсолнечного, пальмового и кокосового масел. Антикоррозионные свойства синтезированных триазолопиримидинов исследованы в отношении стали Ст3 в 24 % HCl с использованием прямых (ГОСТ 9.905-82, 9.907-83) и электрохимических (потенциодинамическая поляризация, метод поляризационного сопротивления по Мансфельду) методов. Все производные показали высокую ингибирующую активность при концентрациях 1–2 г/л. Наибольшая эффективность установлена для производных кокосового масла: степень защиты (*Z*) достигла 92.6 % (1 г/л) и 98.0 % (2 г/л) по данным гравиметрии, и 97.2–97.4 % по данным поляризационных измерений (*i*_{cor} снижена до 0.026–0.028 мА/см² против 6.8 мА/см² в фоновом эксперименте).

Выводы: Показано, что высокая эффективность смеси производных кокосового масла связана с преобладанием в ее составе производных жирных кислот средней длины цепи (C10–C14, из них ~ 50 % остатков лауриновой кислоты). Полученные соединения представляют собой перспективные экологичные ингибиторы кислотной коррозии для нефтедобывающей промышленности.

Ключевые слова: Коррозия металла, сталь, соляная кислота, ингибиторы коррозии, гетероциклические соединения, растительные масла, аминотриазолы, тетрагидротриазолопиримидинолы, физико-химические методы исследования

Источник финансирования: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-23-00457, <https://rscf.ru/project/24-23-00457/>).

Для цитирования: Кружилин А. А., Шевцов Д. С., Дмитриев И. А., Потапов М. А., Шихалиев Х. С. Синтез производных 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-*a*]пиримидин-7-олов из растительных масел и их эффективность как ингибиторов солянокислотной коррозии стали. *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2025;27(3): 409–416. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2025.27/13017>

For citation: Kruzhilin A. A., Shevtsov D. S., Dmitriev I. A., Potapov M. A., Shikhaliev Kh. S. Synthesis of 2-alkyl-5-phenyl-4,5,6,7-tetrahydro-[1,2,4]triazolo[1,5-*a*]pyrimidin-7-ol derivatives from vegetable oils and their efficiency as inhibitors of hydrochloric acid corrosion of steel. *Condensed Matter and Interphases*. 2025;27(3): 409–416. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2025.27/13017>

✉ Кружилин Алексей Александрович, e-mail: kruzhilin.alexey@gmail.com

© Кружилин А. А., Шевцов Д. С., Дмитриев И. А., Потапов М. А., Шихалиев Х. С., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

1. Введение

В настоящее время увеличение объемов добычи на нефтяных месторождениях является одним из ключевых направлений развития нефтедобывающей промышленности. Особенно перспективными для применения новых технологий интенсификации добычи являются карбонатные коллекторы, где выработка и коэффициент извлечения нефти относительно низки. Среди методов воздействия на призабойную зону скважин в таких коллекторах наиболее распространены солянокислотные технологии, которые играют важную роль в увеличении добычи нефти [1–2]. Однако использование соляной кислоты может вызвать коррозию металлов и растрескивание трубопроводов под напряжением. Для предотвращения этих проблем в раствор соляной кислоты добавляют ингибиторы коррозии. В последнее время усилились исследования по поиску и синтезу экологически чистых и безвредных соединений природного происхождения, которые могут быть использованы в качестве таких антикоррозионных агентов. В качестве подобных добавок используются разнообразие соединений: как органические, так и неорганические [3].

Растительные масла (касторовое, пальмовое, соевое, подсолнечное и др.) служат сырьём для извлечения жирных кислот (олеиновая, стеариновая, линолевая и др.), которые модифицируются в эффективные ингибиторы. Химическая модификация жирных кислот позволяет получать ингибиторы коррозии таких классов, как сложные эфиры для защиты в HCl и нефтеводных средах, этоксилаты, оксадиазолы/триазоламиды и амидоамины, а также аммонийные соли триэтаноламина в качестве ингибиторов кислотных сред (HCl и H₂SO₄), имидазолины для защиты в солевых растворах NaCl. Согласно литературным данным, наряду с высокой антикоррозионной эффективностью, такие ингибиторы обладают рядом преимуществ: они являются биоразлагаемыми, нетоксичными (в сравнении с известными ингибиторами), а их производство более экономично, так как используется возобновляемое сырьё низкой стоимости [4].

В ходе предыдущего исследования [5] нами было обнаружено неожиданное ингибирующее действие продуктов взаимодействия 3-алкил-5-амино-1*H*-1,2,4-триазолов с коричневым альдегидом. Их детальный анализ показал, что активными компонентами смеси являются производные 4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-*a*]

пиримидин-7-ола, представляющие собой новый класс ингибиторов солянокислотной коррозии. Предположительной причиной их высокой эффективности является наличие в их структуре триазолопиримидиновой матрицы, поскольку ни исходные триазолы, ни чистый коричневый альдегид не обладали сопоставимыми защитными свойствами. Принципиальное значение имеет гидрированное состояние пиримидинового цикла, о чем свидетельствует низкая активность ароматических (негидрированных) триазолопиримидинов, также изученных ранее [6]. В связи с этим основной целью данной работы стал синтез производных 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-*a*]пиримидин-7-ола из растительных масел и исследовать их в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали в HCl.

2. Экспериментальная часть

Спектральные методы анализа

Хроматографический анализ чистоты полученных соединений проводили на жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity с УФ и масс-детектированием (временнóлетный детектор масс высокого разрешения Agilent 6230 TOF LC/MS, ионизация электрораспылением). Условия хроматографирования: колонка Gemini C18 (4.6×50 мм); диаметр частиц сорбента 5 мкм; линейное градиентное элюирование; подвижная фаза: элюент А – MeCN–H₂O, 2.5 : 97.5, 0.1 % CF₃COOH, элюент В – MeCN, 0.1 % CF₃COOH, скорость потока подвижной фазы 3.75 мл/мин; температура колонки 40 °С; объем инъекции 1.5 мкл.

*Общая методика синтеза 3-замещенных 5-амино-1*H*-1,2,4-триазолов (1*a-c*)*

К раствору ~ 0.1 моль масла в 100 мл бутанола при перемешивании осторожно добавляли 1 мл серной кислоты, наблюдали отделение слоя глицерина на дне емкости. После этого порционно добавляли к смеси 0.1 моль (13.6 г) аминогуанидинбикарбоната. Смесь подогревали до 90–95 °С (наблюдала выделение углекислого газа) и кипятили с насадкой Дина–Старка и обратным холодильником, снабженным хлоркальциевой трубкой, в течение ~20 часов. По истечении этого времени в реакционную массу вносили 2 г едкого натра и продолжали кипячение в течение еще 5 часов для циклизации образованного интермедиата **1a-c***. Завершение протекания реакции фиксировали по количеству отделившейся воды

в ловушке Дина–Старка ($\sim 3.5 \text{ см}^3$). Смесь охлаждали, полученную смесь триазолов промывали водой и экстрагировали в системе бутанол-вода, удаляя водную фракцию 3 раза, органическую фракцию сушили над сульфатом натрия, после чего упаривали на ротаторном испарителе.

Общая методика синтеза производные 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов (2а-с)

Смесь 0.1 моль коричневого альдегида и ~ 0.1 моль смеси аминотриазолов **1а-с** в среде амфотерного ПАВ (40 мас. % от общей массы реагентов) выдерживали при температуре $80\text{--}85^\circ\text{C}$ в течение 15 минут. Смесь остужали и исследовали без выделения и дальнейшей обработки.

Электрохимические исследования

Полученные производные 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов были исследованы на предмет антикоррозионной активности в отношении кислотной коррозии стали Ст3 в 24 % HCl гравиметрически в прямых коррозионных испытаниях, а также по методу потенциодинамической поляризации.

Прямые коррозионные испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.905-82 «Методы коррозионных испытаний», 9.907-83 «Методы удаления продуктов после коррозионных испытаний».

Коррозионные испытания проводили на стальных пластинах (20×40 мм, толщина 1.2 мм). Каждый образец предварительно полировали мелкозернистой шлифовальной бумагой K1000, после чего промывали дистиллированной водой, этанолом и сушили фильтровальной бумагой. Эксперименты проводили в 24%-ном растворе HCl (в течение 7 суток) при естественной аэрации без перемешивания для трех образцов одновременно (для каждой концентрации ингибитора). После испытаний пластины промывали дистиллированной водой и обрабатывали составами в соответствии с ГОСТ 9.907-83.

Скорость коррозии определяли по потере массы образцов и рассчитывали по формуле:

$$k_{\text{inh}} = \frac{\Delta m}{S \times t},$$

где $\Delta m = m_0 - m$ (m_0 – масса образца до начала эксперимента, m – масса образца после испытаний, г), S – геометрическая площадь поверхности пластинки, м^2 .

Для каждого раствора определяли скорость коррозии k_0 без добавки ингибитора

($k_0(\text{сред}) \approx 16.9 \text{ г/м}^2\text{-сут}$). Эффективность ингибирующего действия производных аминотриазина оценивали по величине коэффициента торможения:

$$\gamma = k_0 / k_{\text{inh}}$$

и степени защиты:

$$Z = \left[\frac{k_0 - k_{\text{inh}}}{k_0} \right] \times 100 \%,$$

где k_0 и k_{inh} – скорость коррозии в фоновом растворе и в растворе с ингибитором соответственно.

Расчет скорости коррозии по методу поляризационного сопротивления

Поляризационные кривые получали на электроде из стали марки Ст3 (площадью 1.0 см^2) в электрохимической ячейке с неразделенными электродными пространствами на потенциостате IPC-PRO. Рабочий электрод предварительно зачищали на наждачной бумаге K2000 и обезжиривали этиловым спиртом. Потенциалы электрода (E) измеряли относительно хлорид-серебряного электрода, соединяя пространство электрохимической ячейки и электрода сравнения посредством электролитического моста на основе агар-агара и нитрата натрия, и пересчитывали на шкалу стандартного водородного электрода (ст.в.э.) (потенциал $+202 \text{ мВ}$ относительно ст.в.э. Вспомогательный электрод – платиновая сетка.

Исследуемые вещества вводили в кислоту до получения необходимой концентрации. В готовый раствор помещали электроды и выдерживали до наступления стационарного состояния в течение 30 минут. После установления значения потенциала коррозии (E_{cor}) получали поляризационные кривые со скоростью сканирования потенциала 0.2 мВ/с в анодном и катодном направлениях. Поляризационные кривые регистрировали до достижения плотности тока (i) $0.1 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$.

Скорость коррозии в токовых единицах определяли методом поляризационного сопротивления в соответствии с расчетной процедурой Ф. Мансфельда [7].

Исследования проводили с помощью трехэлектродной ячейки с неразделенным катодным и анодным пространствами без перемешивания в условиях естественной аэрации, электрод сравнения – хлоридсеребряный (потенциал $+202 \text{ мВ}$ относительно ст.в.э.), вспомогательный электрод – платиновая сетка. Электрод сравнения

отделяли от ячейки электролитическим мостом, изготовленным на основе агар-агара и NaNO_3 .

Рабочий электрод предварительно зачищали на наждачной бумаге P2000, обезжиривали этиловым спиртом (96 %) и промывали дистиллированной водой. В готовый раствор помещали электроды и выдерживали до наступления стационарного состояния в течение 30 минут. По достижении стационарного состояния производили поляризацию электрода в интервале ± 30 мВ от значения E_{cor} в потенциодинамическом режиме со скоростью сканирования 0.2 мВ/с.

Поляризационное сопротивление R_p определяли, как наклон поляризационной кривой в точке E_{cor} в координатах $\Delta E - I$, где ΔE – разность текущего потенциала электрода и потенциала коррозии ($E - E_{\text{cor}}$), I – сила электрического тока в измерительной цепи. Далее перестраивали зависимость в координатах $2.3R_p I - \Delta E$. Коэффициенты b_a и b_c (тафелевские наклоны катодного и анодного участков поляризационной кривой) определяли с помощью программы TableCurve 2D как параметры аппроксимации уравнения:

$$2.3R_p I = \frac{b_a \times b_c}{b_a + b_c} \left[\exp\left(\frac{E - E_{\text{cor}}}{b_a}\right) - \exp\left(-\frac{E - E_{\text{cor}}}{b_c}\right) \right].$$

Ток коррозии рассчитывался с учетом полученных коэффициентов по уравнению:

$$I_{\text{cor}} = \frac{B}{R_p},$$

где B – коэффициент Штерна–Гери, рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{b_a \times b_c}{2.3(b_a + b_c)}.$$

Для возможности сравнения данных, получаемых в различных исследованиях, далее будут представлены значения плотности тока коррозии (i_{cor}), рассчитываемые по выражению:

$$i_{\text{cor}} = \frac{I_{\text{cor}}}{S},$$

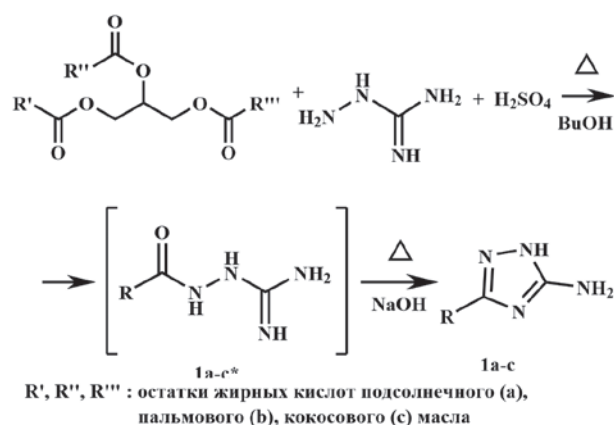
где S – геометрическая площадь электрода. Для удобства дальнейшего сравнения полученных данных рассчитывали отношение плотности тока коррозии каждого исследованного образца к плотности тока фонового эксперимента ($i_{\text{cor}}^0 \approx 6.8$ мА/см²):

$$Z_i = \frac{i_{\text{cor}}}{i_{\text{cor}}^0} \times 100\%.$$

Измерения для каждой концентрации вещества производили не менее 5 раз до получения воспроизводимых данных с их последующей статистической обработкой результатов измерения.

3. Результаты и обсуждение

Смесь 1,2,4-аминотриазолов на основе растительного масла была получена впервые реакцией соответствующего растительного масла с бикарбонатом амингуанидина. Для этого масло подвергали гидролизу в присутствии серной кислоты. Образующиеся в результате *in situ* жирные кислоты вступают во взаимодействие с амингуанидином. В результате на первой стадии образуются 2-алкилгидразин-1-карбоксимидамиды **1a-c***, далее они циклизируются в среде щелочи до целевых 1,2,4-аминотриазолов **1a-c**.

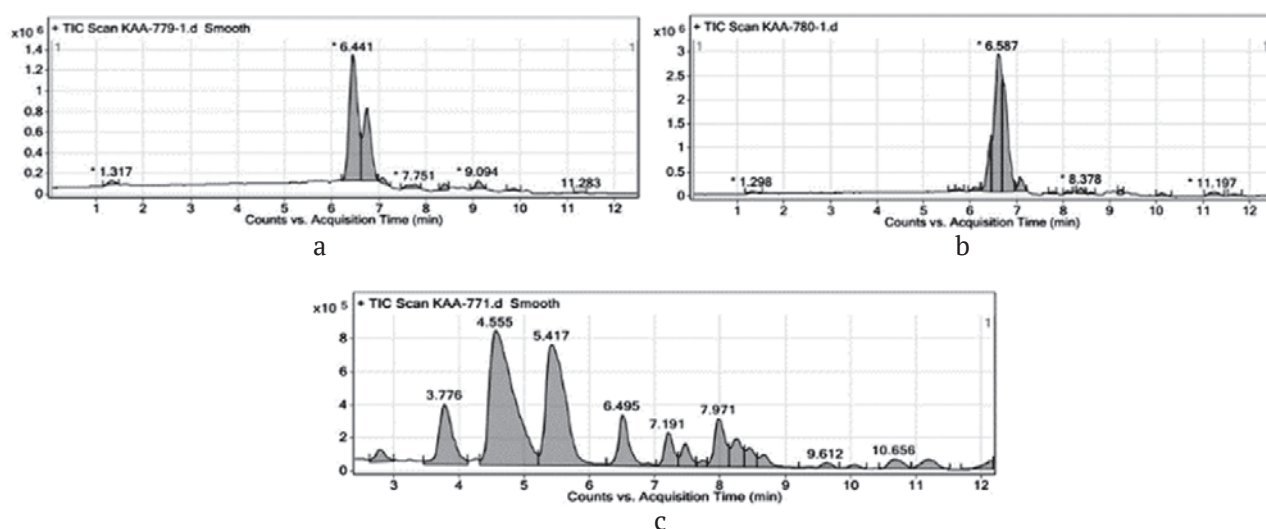
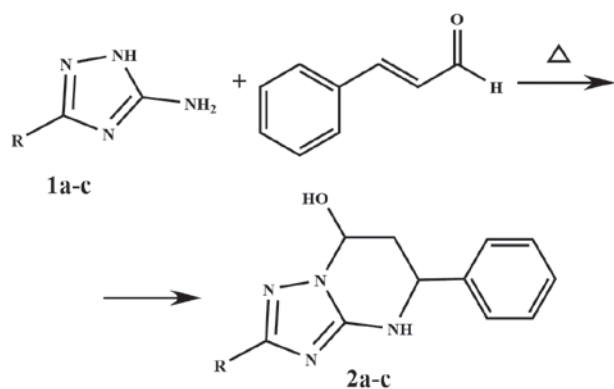


Состав смесей аминотриазолов **1a-c** был установлен по методу ВЭЖХ/МС и представлен в табл. 1 и на рис. 1. Выход составил > 95 %.

Полученные таким образом смеси 1,2,4-аминотриазолов вводили в дальнейшее превращение с коричным альдегидом по уже известной методике [5]. Для этого смесь 0.1 моль коричневого альдегида и ~ 0.1 моль смеси аминотриазолов **1a-c** в среде амфотерного ПАВ выдерживали при температуре 80–85 °С в течение 15 минут. В рамках данного взаимодействия 1,2,4-триазолы претерпевают превращение, заключающееся на первой стадии в присоединении к кратной связи экзоциклической аминогруппы по механизму Михаэля и на второй стадии во внутримолекулярной циклизации с нуклеофильным присоединением по карбонильной группе. В результате образуются производные 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов **2a-c**.

Таблица 1. Состав смесей аминотриазолов **1a-c** по данным ГХ/МС и ВЭЖХ/МС

ЖК	1a, %	1b, %	1c, %
C6	1.71	–	–
C8	–	–	6.21
C10	–	–	3.19
C12	–	–	44.1
C14	–	2.17	10.21
C16	–	49.92	3.41
C18:0	1.81	3.70	6.2
C18:1	29.91	27.52	14.9
C18:2	57.88	11.22	9.09
C20	5.03	3.31	2.29
прочие	3.76	2.16	0.40

**Рис. 1.** Хроматограммы полного ионного тока смесей 1,2,4-аминотриазолов **1a-c**

R: остатки жирных кислот подсолнечного (а), пальмового (b), кокосового (с) масла

По результатам прямых антикоррозионных испытаний для производных **2a-c** получены высокие показатели защиты (табл. 2). В концентрации ингибитора 2 г/л все изученные произ-

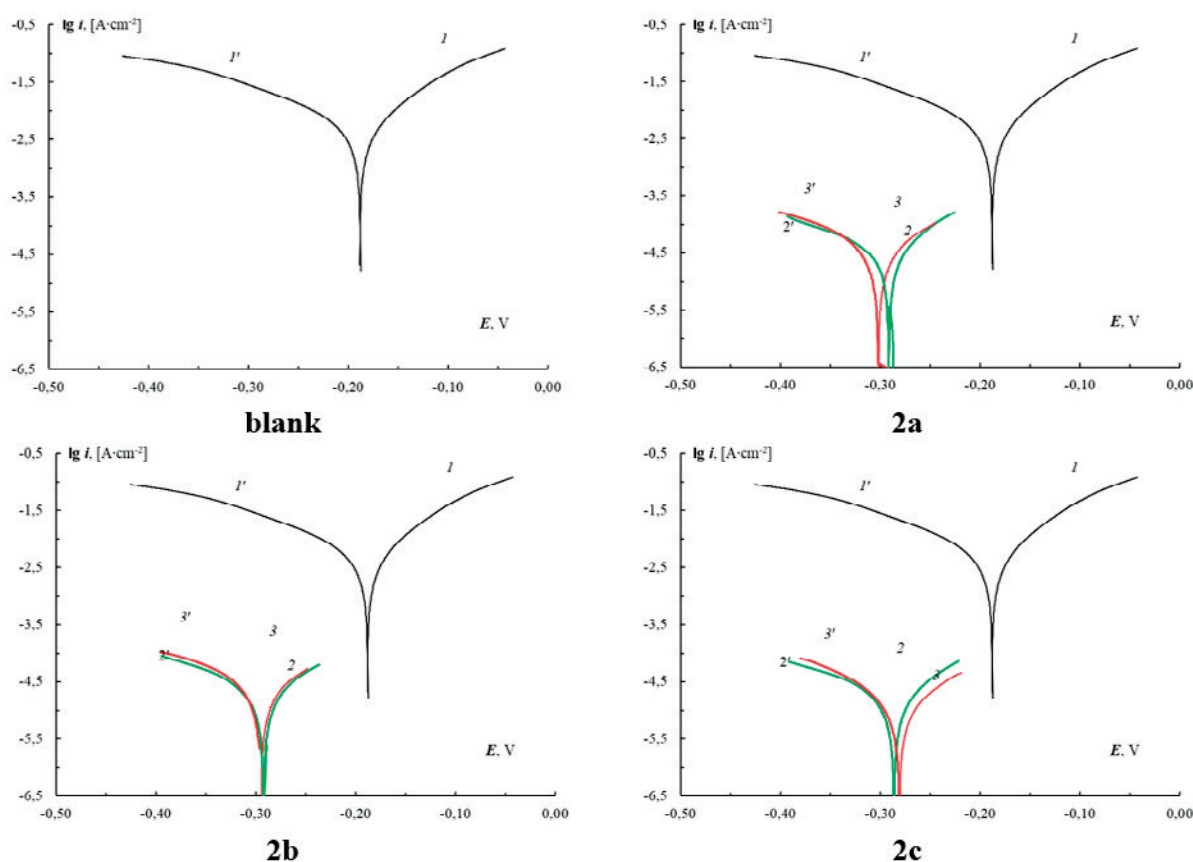
водные позволили достичь степени защиты > 95 %. При концентрации 1 г/л наиболее эффективной оказалась смесь тетрагидротриазолопиримидинов кокосового масла со степенью защиты 92.6 %. Производные пальмового масла в концентрации 1 г/л позволили достичь показателя степени защиты не более 80 %. Вероятно, это связано с высоким содержанием остатков пальмитиновой кислоты.

По данным поляризационных испытаний производных **2a-c** получен набор анодных и катодных поляризационных кривых (рис. 2).

Значения E_{cor} для всех испытаний составили от –300 до –280 мВ и сильно смещены на 80–100 мВ в катодную область в сравнении с холостым опытом. Наблюдается рост значений поляризационного сопротивления в ряду подсолнечное – пальмовое – кокосовое масло. Та же тенденция характерна и для величин i_{cor} и Z_i : плот-

Таблица 2. Показатели антикоррозионной активности по результатам прямых коррозионных тестов в 24%-ной HCl

Ингибитор	$C_{\text{инг}}, \text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$	Скорость коррозии, $k_{\text{inh}}, \text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$	Коэффициент торможения, $\gamma, \%$	Степень защиты, $Z, \%$
без ингибитора	–	16.90	–	–
2a	1	2.65	6.66	85.0
	2	0.75	23.55	98.0
2b	1	3.13	4.89	79.6
	2	0.31	49.39	95.8
2c	1	1.11	13.55	92.6
	2	0.31	49.39	98.0


Рис. 2. Анодные (1–3) и катодные (1'–3') поляризационные кривые электродов из стали ст3 в растворе 24 % HCl без добавок ингибиторов (blank), с добавками **2a** (2a), с добавками **2b** (2b), с добавками **2c** (2c) в концентрациях 1 г/л (2–2') и 2 г/л (3–3')

ность тока коррозии уменьшается – степени защиты возрастают. Смесь производных кокосового масла проявила наиболее выдающиеся показатели антикоррозионного действия в отношении кислотной коррозии. Плотность тока коррозии для них составила 0.028 и $0.026 \text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$ при концентрациях 1 и 2 г/л соответственно. Стоит отметить, что для ингибиторов **2a** и **2b** при увеличении концентрации с 1 до 2 г/л наблюдается снижение степени защиты, однако снижение незначительно и, вероятно, связано с неболь-

шими погрешностями измерений, что подтверждается рассчитанными значениями доверительного интервала для показателя плотности тока коррозии.

Таким образом, на основании проведенных поляризационных измерений, можно предполагать высокое ингибирующее действие для всех исследованных производных на основе растительных масел при всех изученных концентрациях без значительного различия при увеличении $C_{\text{инг}}$. При сопоставлении результатов пря-

Таблица 3. Данные электрохимических испытаний смесей 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов **2a-c**

Ингибитор	$C_{инг}, \text{г·дм}^{-3}$	$E_{кор}, \text{мВ}$	$R_p, \text{k}\Omega\cdot\text{см}^2$	$i_{кор}, \text{мА}\cdot\text{см}^{-2}$	$Z_i, \%$
без ингибитора	–	–188	4.2 ± 0.5	6.8 ± 0.3	–
2a	1.0	–291	969 ± 51	0.047 ± 0.011	95.3
	2.0	–302	584 ± 18	0.057 ± 0.002	94.3
2b	1.0	–292	982 ± 9	0.043 ± 0.004	95.6
	2.0	–295	835 ± 13	0.051 ± 0.006	94.9
2c	1.0	–287	1138 ± 58	0.028 ± 0.006	97.2
	2.0	–281	1529 ± 46	0.026 ± 0.007	97.4

мых и электрохимических опытов видно, что производное 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов кокосового масла **2c**, содержащие преимущественно остатки жирных кислот средней длины (C10–C14) являются наиболее эффективными в торможении солянокислотной коррозии стали Ст3.

4. Выводы

Проведен синтез и доказана структура методом ВЭЖХ/МС серии смесей 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов жирных кислот растительных масел (подсолнечного, пальмового и кокосового) напрямую из растительного масла. Изучены антикоррозионные свойства смесей 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов жирных кислот растительных масел в отношении кислотной коррозии стали Ст3 в 24%-ной HCl. Смесь на основе кокосового масла проявила наиболее высокие защитные показатели (степень защиты составила 97.2–97.4 % по результатам поляризационных тестов, и 92.6–98.0 % согласно прямым коррозионным испытаниям). Результаты свидетельствуют, что тетрагидротриазолопиримидинолы, содержащие алифатические остатки жирных кислот средней длины (C10–C14), являются наиболее оптимальными для пассивации стали при кислотной коррозии.

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы

1. Fredd C. N., Fogler H. S. Alternative stimulation fluids and their impact on carbonate acidizing. *SPE Journal*. 1998;3(1): 34–41. <https://doi.org/10.2118/31074-PA>
2. Iqbal M. I., Kudapa V. K. Oil well production mechanism: training manual on well production operations for non-production engineers (oil and gas production operations). *CRC Press*. 2025. <https://doi.org/10.1201/9781003605706>
3. Авдеев Я. Г., Кузнецов Ю. И. Физико-химические аспекты ингибирования кислотной коррозии металлов ненасыщенными органическими соединениями. *Успехи химии*. 2012;81(12): 1133–1145. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18226908>
4. Swathi P. N., Rasheeda K., Samshuddin S., Alva V. D. Fatty acids and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel-an overview. *Journal of Asian Scientific Research*. 2017;7(8): 301–308. <https://doi.org/10.18488/journal.2.2017.78.301.308>
5. Kruzhilin A. A., Shevtsov D. S., Potapov A. Yu., ... Kasatkin V. E. Novel inhibitory compositions based on 4,5,6,7-tetrahydro-[1,2,4]triazolo[1,5-a]pyrimidin-7-ol derivatives for steel acid corrosion protection. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*. 2022;11(2): 774–795. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-2-22>
6. Kruzhilin A. A., Lyapun D. V., Shevtsov D. S., ... Shikhaliev Kh. S. New [1, 2, 4] triazolo [1, 5-a] pyrimidine-7-one corrosion inhibitors for copper in chloride environments. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*. 2021;10(4): 1474–1492. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-4-7>
7. Mansfeld F. Tafel slopes and corrosion rates obtained in the pre-Tafel region of polarization curves. *Corrosion Science*. 2005;47(12): 3178–3186. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.04.012>

Информация об авторах

Кружилин Алексей Александрович, к. х. н., заведующий лабораторией органических добавок для процессов химического и электрохимического осаждения металлов и сплавов, применяемых в электронной промышленности, Воронежский государственный университет (Воронеж, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0003-2262-0131>
kruzhilin.alexey@gmail.com

Шевцов Дмитрий Сергеевич, к. х. н., н. с. лаборатории органических добавок для процессов химического и электрохимического осаждения металлов и сплавов, применяемых в электронной промышленности, Воронежский государственный университет (Воронеж, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0003-4480-787X>
shevtsov@chem.vsu.ru

Дмитриев Иван Александрович, студент кафедры органической химии, Воронежский государственный университет (Воронеж, Российская Федерация).

Потапов Михаил Андреевич, к. х. н., ведущий инженер-химик кафедры биохимии и физиологии клетки медико-биологического факультета, Воронежский государственный университет (Воронеж, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0002-1795-7605>
amidines@mail.ru

Шихалиев Хидмет Сафарович, д. х. н., профессор, заведующий кафедрой органической химии, Воронежский государственный университет (Воронеж, Российская Федерация).

<https://orcid.org/0000-0002-6576-0305>
chocd261@chem.vsu.ru

Поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 26.03.2025; принята к публикации 15.04.2025; опубликована онлайн 25.06.2025.