



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 129–134  
*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 129–134  
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-129-134>, EDN: QVPMHA

Научная статья  
УДК 547.792+547.859+620.193

## Синтез производных класса 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-ола



Д. В. Ляпун , А. А. Кружилин, Х. С. Шихалиев

Воронежский государственный университет, Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Ляпун Денис Викторович, руководитель проектов ООО НИОСТ ПАО Сибур, [dshef@yandex.ru](mailto:dshef@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5187-124X>

Кружилин Алексей Александрович, научный сотрудник кафедры органической химии, [kruzhilin.alexey@gmail.com](mailto:kruzhilin.alexey@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2262-0131>

Шихалиев Хидмет Сафарович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии, [shikh1961@yandex.ru](mailto:shikh1961@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6576-0305>

**Аннотация.** Проблема кислотной коррозии стали имеет большое значение, особенно в контексте нефтедобывающей промышленности, где широко используется процедура кислотной обработки скважин и околоскважинных пространств. В данной исследовательской статье освещается синтез и изучение ранее не изученных производных класса 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов – органических соединений, представляющих потенциально высокую эффективность в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали. Метод синтеза предложенных соединений включает в себя конденсацию 3-алкил-5-амино-1Н-1,2,4-триазолов с коричневым альдегидом. Структура синтезированных соединений была подтверждена с применением методов ЯМР <sup>1</sup>Н и LCMS. Выявлено, что разработанные условия синтеза обеспечивают получение целевых тетрагидротриазолопиримидинов с алкильными заместителями, содержащими до трех атомов углерода включительно. При увеличении же длины алкильных заместителей наблюдается интенсификация побочных процессов, что делает выделение целевых соединений затруднительным. Полученные результаты исследования представляют важность для разработки эффективных органических ингибиторов кислотной коррозии стали нового класса. Эти данные могут служить основой для последующих исследований в данной области, способствуя развитию новых методов предотвращения коррозии и повышению устойчивости материалов, используемых в нефтяной промышленности. Таким образом, представленное исследование не только описывает новый препаративный подход к получению ингибиторов коррозии класса тетрагидротриазолопиримидинов, но также в перспективе имеет практическое значение в области промышленных технологий и материаловедения.

**Ключевые слова:** коррозия, сталь, ингибиторы коррозии, гетероциклические соединения, аминотриазолы, тетрагидротриазолопиримидинолы, буровое оборудование

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

**Для цитирования:** Ляпун Д. В., Кружилин А. А., Шихалиев Х. С. Синтез производных класса 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[1,5-а]пиримидин-7-ола // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 129–134. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-129-134>, EDN: QVPMHA

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Synthesis of 2-alkyl-5-phenyl-4,5,6,7-tetrahydro-[1,2,4]triazolo[1,5-a]pyrimidin-7-ol derivatives**

Д. В. Ляпун , А. А. Кружилин, Х. С. Шихалиев

Voronezh State University, 1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia

Denis V. Lyapun, [dshef@yandex.ru](mailto:dshef@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5187-124X>

Alexey A. Kuzhilin, [kuzhilin.alexey@gmail.com](mailto:kuzhilin.alexey@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2262-0131>

Khidmet S. Shikhaliev, [shikh1961@yandex.ru](mailto:shikh1961@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6576-0305>

**Abstract.** The problem of acid corrosion of steel is of significant importance, particularly in the context of the oil extraction industry, where acid treatment of wells and surrounding spaces is widely employed. This research article focuses on the synthesis and investigation of previously unstudied derivatives of the class of 2-alkyl-5-phenyl-4,5,6,7-tetrahydro-[1,2,4]triazolo[1,5-a]pyrimidin-7-ols – organic compounds potentially highly effective as inhibitors of acid corrosion of steel. The method for synthesizing the proposed compounds involves the condensation of 3-alkyl-



5-amino-1H-1,2,4-triazoles with cinnamaldehyde. The structure of the synthesized compounds has been confirmed using <sup>1</sup>H NMR and LCMS methods. The study has revealed that the developed synthesis conditions yield the target tetrahydrotriazolopyrimidinols with alkyl substituents containing up to three carbon atoms. However, an increase in the length of alkyl substituents intensifies side reactions, making the isolation of the target compounds challenging. The obtained research results are significant for the development of effective organic inhibitors of acid corrosion of steel of a new class. These findings can serve as a basis for further research in this area, contributing to the development of new methods for corrosion prevention and improving the resistance of materials used in the oil industry. Thus, this study not only describes a new synthetic approach to obtaining inhibitors of corrosion in the tetrahydrotriazolopyrimidinol class but also holds prospective practical value in the field of industrial technologies and materials science.

**Keywords:** corrosion, steel, corrosion inhibitors, heterocyclic compounds, aminotriazoles, tetrahydrotriazolopyrimidinols, drilling equipment

**Acknowledgements.** This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 24-23-00457, <https://rscf.ru/en/project/24-23-00457/>).

**For citation:** Lyapun D. V., Kruzhilin A. A., Shikhaliyev Kh. S. Synthesis of 2-alkyl-5-phenyl-4,5,6,7-tetrahydro-[1,2,4]triazolo[1,5-a]pyrimidin-7-ol derivatives. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 129–134 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-129-134>, EDN: QVPMHA

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Кислотные обработки нефтяных и газовых скважин, как правило, используются для создания искусственных каналов в карбонатных пластах и увеличения их проницаемости, что достигается путем растворения глины и других материалов, в том числе карбонатов металлов, которые могут забивать поры вокруг ствола скважины. Для этой цели чаще всего используются уксусная кислота, соляная кислота или комбинация плавиковой и соляной кислот [1].

Поскольку эти растворы могут вызвать значительную коррозию как внутри обсадных труб, так и внутри колонн гибких насосно-компрессорных труб, необходимо использовать так называемые ингибированные кислоты, которые создаются путем добавления ингибиторов коррозии в упомянутые кислотные растворы. На сегодняшний день существует широкий спектр органических ингибиторов коррозии, которые могут быть использованы в этом процессе [2, 3].

В одном из наших предыдущих исследований [4] было найдено неожиданное ингибирующее действие, проявляемое смесями 3-алкил-5-амино-1H-1,2,4-триазолов с коричным альдегидом. В результате комплексного исследования состава смесей было установлено, что они содержали новый класс ранее не изученных ингибиторов кислотной коррозии стали – 4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олы. Публикации, посвященные исследованию подходов к получению производных данного класса, практически отсутствуют в научной литературе. Немногочисленные публикации, касающиеся этой тематики, охватывают лишь единичные примеры данного превращения [5, 6].

Вероятно, существенный защитный эффект этих веществ обусловлен наличием триазолопиримидиновой матрицы в их структуре, так как существенные защитные свойства отсутствовали у исходных 3-алкил-5-амино-1H-1,2,4-триазолов, из которых были получены исследованные в настоящей статье соединения, также и сам коричный альдегид в чистом виде не проявляет столь высоких защитных свойств. Очевидно, что важным структурным аспектом, обуславливающим достаточно хорошие защитные свойства данного класса веществ, является высокая степень гидрированности пиримидинового цикла, так как ранее изученные нами производные [1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидина с ароматическим (негидрированным) пиримидиновым циклом не обладали столь высоким защитным эффектом [7].

Целью настоящей работы стало исследование особенностей препаративного синтеза производных класса 2-R-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов как потенциально высокоэффективных ингибиторов кислотной коррозии стали.

## Материалы и методы

Чистоту синтезированных соединений контролировали методом ТСХ на пластинках с силикагелем 60 F254 (Merck), используя в качестве элюента хлороформ, метанол или их смеси. Хроматограммы проявляли с помощью УФ-облучения, парами йода и прокаливанием при температурах >200°C. Температуры плавления полученных соединений определяли на приборе Stuart SMP30. ВЭЖХ-анализ проводили с использованием жидкостного хроматографа Agilent



1260 Infinity, оснащенного УФ-детектором в сочетании с детектором Agilent 6230 TOF LC/MS. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  записаны на спектрометре «Bruker AV600» с рабочей частотой 500,13 МГц, внутренний стандарт – тетраметилсилан. Спектры записывали при 27°C, используя ДМСО-d6 в качестве растворителя. Для синтетических целей использовали коммерчески доступные растворители и реагенты (SigmaAldrich, Merck, Acros Organics).

*Общая методика синтеза 3-алкил-5-амино-1H-1,2,4-триазолов (1a-d).*

Синтез проводили в колбе, снабженной мешалкой, ловушкой для воды с обратным холодильником. К 60 мл бутанола при перемешивании добавляли 1 ммоль бикарбоната амингуанидина, а затем 1,1 ммоль соответствующей кислоты. Продолжая перемешивать, осторожно нагревали смесь не выше 90–95°C до прекращения выделения углекислого газа (визуально до прекращения вспенивания). Затем смесь кипятили 3–15 ч и собирали воду в ловушке (нижний слой). Смесь охлаждали до прекращения кипения реакционной массы. Ловушку для воды заменяли насадкой Вюрца с термометром и нисходящим холодильником и отгоняли бутанол при атмосферном давлении. Остаток перекристаллизовывали из смеси изопропанол–петролейный эфир.

*Общая методика синтеза 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-a]пиримидин-7-олов (2a-d).*

1 ммоль **1a–d** и 1 ммоль коричневого альдегида в 5 мл смеси ацетона с пиперидином (9:1) кипятили в течение 0,5–6 ч. После охлаждения выпавший осадок отфильтровывали, промывали ацетоном и высушивали.

*5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-a]пиримидин-7-ол (2a).* Выход: 87%,  $T_{\text{пл}} = 201–203$  °C. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (500 MHz, DMSO-d6, 27 °C,  $\delta$ , м.д.) 1.35–1.49 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 1.98–2.09+2.41–2.52 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 3.45–3.61 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 4.43–4.60+5.07–5.13 (м., 1H, OH); 7.15–7.21 (м., 1H, NH); 7.23–7.50 (м., 5H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ), 7.55–7.65 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{триаз}}$ ). Найдено, m/z: 217.2547  $[\text{M}+\text{H}]^+$ .  $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}+\text{H}^+$ . Вычислено: m/z: 217.2440

*2-метил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-a]пиримидин-7-ол (2b).* Выход: 68.5%,  $T_{\text{пл}} = 204–207$  °C. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (500 MHz, DMSO-d6, 27 °C,  $\delta$ , м.д.) 1.60 (с., 3H,  $\text{CH}_3$ ); 1.97 (с., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 2.30 (с., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 3.80 (с., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 5.41 (с., 1H, OH); 6.70 (д.,

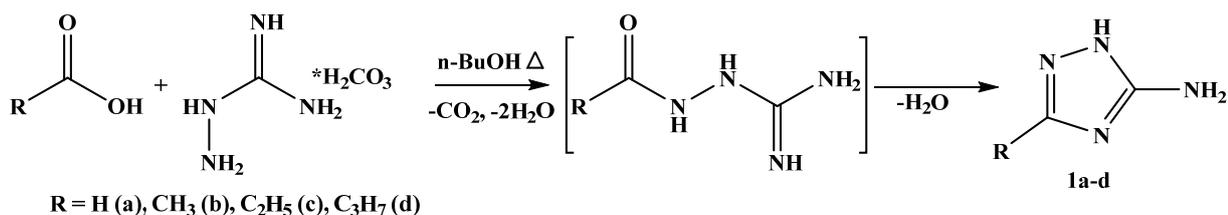
2H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ); 7.05 (т., 2H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ), 7.20 (т., J=7.0, 1H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ), 13.5 (уш.с., 1H, NH). Найдено, m/z: 231.3057  $[\text{M}+\text{H}]^+$ .  $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}+\text{H}^+$ . Вычислено: m/z: 231.2710

*2-этил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-a]пиримидин-7-ол (2c).* Выход: 57.9%,  $T_{\text{пл}} = 208–212$  °C. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 MHz, DMSO-d6, 27°C,  $\delta$ , м.д.) 1.27 (т., J = 6.4, 3H,  $\text{CH}_3$ ); 1.35–1.51 (м. 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 1.98–2.09+2.41–2.52 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 2.48 (м., 2H,  $\text{CH}_2$ ); 2.88–3.35 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 4.43–4.60+5.07–5.13 (м., 1H, OH); 6.96–7.01 (с., 1H, NH); 7.25–7.44 (м., 5H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ). Найдено, m/z: 244.3057  $[\text{M}+\text{H}]^+$ .  $\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{N}_4\text{O}+\text{H}^+$ . Вычислено: m/z: 245.2710

*2-пропил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-a]пиримидин-7-ол (2d).* Выход: 53.7%,  $T_{\text{пл}} = 214–217$  °C. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 MHz, DMSO-d6, 27 °C,  $\delta$ , м.д.) 0.83 (т., J = 6.5, 3H,  $\text{CH}_3$ ), 1.35–1.48 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 1.51–1.64 (м., 2H,  $\text{CH}_2$ ); 1.92–2.10 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 2.32–2.42 (м., 2H,  $\text{CH}_2$ ); 2.80–3.5 (м., 1H,  $\text{CH}_{\text{пиримид}}$ ); 4.43–4.60+5.07–5.13 (м., 1H, OH); 6.95–6.99 (с., 1H, NH); 7.25–7.45 (м., 5H,  $\text{CH}_{\text{аром}}$ ). Найдено, m/z: 259.3057  $[\text{M}+\text{H}]^+$ .  $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}+\text{H}^+$ . Вычислено: m/z: 259.2710

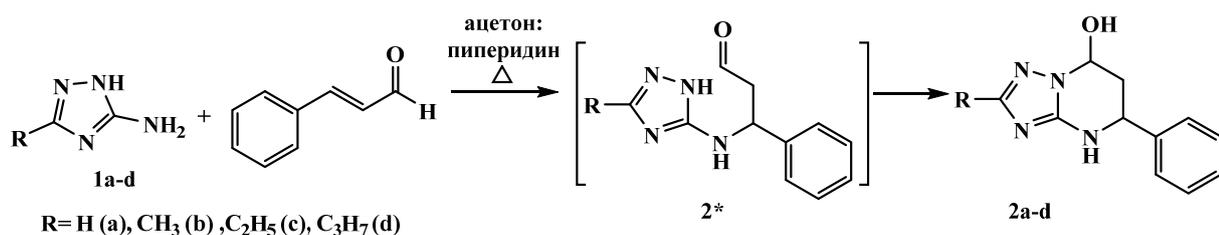
## Результаты и их обсуждение

В соответствии с поставленной целью и задачами на первом этапе исследования были получены исходные 3-алкил-5-амино-1H-1,2,4-триазолы по известной методике [8] взаимодействия амингуанидина с карбоновыми кислотами, которая нами была препаративно модифицирована. Нами установлено, что данная реакция протекает с наиболее высокими выходами при кипячении исходных веществ в бутаноле в течение 3–15 ч с одновременной азеотропной отгонкой воды. Завершение протекания реакции фиксировали по количеству отделившейся воды в ловушке Дина–Старка. По завершении процесса реакционную массу упаривали до полного удаления растворителя, целевые 3-алкил-5-аминотриазолы выделяли перекристаллизацией из смеси петролейный эфир – изопропиловый спирт. В результате выходы целевых продуктов 3-алкил-5-амино-1H-1,2,4-триазолов удалось повысить до 70–85%. Полученные соединения представляют собой кристаллические осадки от бесцветного до светло-желтого или желтого цветов, хорошо растворимые в большинстве органических растворителей.



Далее была изучена реакция аннелирования пиримидинового цикла к полученным 5-амино-1H-1,2,4-триазиолам посредством их взаимодействия с коричным аль-

дегидом. В результате данного превращения были получены 5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олы **2a-d**.



Были исследованы различные условия проведения данной реакции, в том числе основанные на литературных данных [5]. Полученные результаты мониторинга реакции представлены в таблице. Установлено, что оптимальным условием проведения данного процесса является нагревание реагентов в смеси ацетона и пиперидина (9:1) в течение 0,5–6 ч в зависимости от заместителя (см.

таблицу). При использовании прочих условий наблюдалось образование значительного количества побочных продуктов реакции, что негативно сказывалось на выходах конечных тетрагидропиримидинов и затрудняло процедуру их выделения. В ряде условий наблюдалась неполная конверсия исходного триазола даже при длительном кипячении реагентов (более 15 ч).

**Мониторинг условий проведения реакции**  
Table. Monitoring reaction conditions

Условия Conditions	Конверсия, % / Выход, % / Время, ч Conversion, % / Yield, % / Time, h			
	2a	2b	2c	2d
Ацетон–пиперидин (9:1), кипячение	100/87.0/0.5	100/68.5/1	100/57.9/2.5	100/53.7/6
Ацетон–пиперидин (9:1), 2-кратный избыток альдегида, кипячение	100/88.2/0.5	100/70.0/1	100/58.8/2.5	100/52.7/6
Ацетон–морфолин (9:1), кипячение	100/72.1/4	100/60.3/6	100/42.3/8	100/32.2/10
Ацетон–уксусная кислота (9:1)	80.4/45.1/6	75.9/25.3/8	78.9/18.6/12	77.6/9.6/16
ИПС–морфолин (9:1), кипячение	75.1/56.8/0.6	70.3/52.2/8	68.9/47.1/12	60.4/43.0/16
ИПС, 1 мас.% p-TSA, кипячение	66.1/28.2/6	60.9/19.6/8	61.3/19.5/12	54.3/10.5/16
Этанол, NaOH, кипячение	71.2/67.0/10	70.3/68.5/10	62.6/57.9/12	49.9/53.7/12
ДМФА, кипячение	>90/~10/1	>90/~10/1	–	–
ДМФА–триэтиламин, кипячение	>90/~10/1	>90/~10/1	–	–
ДМФА, 60–70°C	24.2/13.6/8	22.3/12.7/8	–	–
ДМФА, 60–70°C, NaHCO <sub>3</sub>	27.1/17.2/8	27.8/15.2/8	–	–
Ксилол–пиперидин (9:1), кипячение	96.2/57.9/2	88.1/38.2/4	95.1/27.3/6	92.5/16.2/10



Наиболее вероятным маршрутом исследуемого процесса, очевидно, является двухстадийный процесс: на первой стадии осуществляется реакция присоединения аминогруппы по кратной связи и на второй стадии последующая внутримолекулярная циклизация за счет реакции нуклеофильного замещения с участием эндоциклической аминогруппы и карбонильной группы интермедиатов **2\***.

Таким образом, нами была получена серия новых 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов **2a–d**. Полученные соединения представляют собой кристаллические осадки от бесцветного до светло-желтого или желтого цветов, хорошо растворимые в большинстве органических растворителей. Их структура подтверждена данными LCMS-спектрометрии и ЯМР<sup>1</sup>H спектроскопии. В разделе «Материалы и методы» описаны сигналы протонов данных веществ. Сдвоенные и расщепленные пики в ЯМР<sup>1</sup>H-спектрах полученных соединений наиболее вероятно свидетельствуют об их существовании в форме смеси их диастереотопов в растворе DMSO-d<sub>6</sub> за исключением СН<sub>3</sub>-производного **2b**. Спектры содержат характерные сигналы 4 СН-протонов пиримидинового цикла в областях 1.9–4.0 м.д. Помимо этого в спектрах присутствуют сигналы алифатических фрагментов в районе 1.2–2.5 м.д., сигналы ОН-протонов в области 5.0–5.4, набор сигналов протонов фенильного заместителя в области ~7.5 м.д. Согласно результатам LCMS-анализа образцы соответствуют заявленным структурам, при этом в большинстве случаев содержат минорную примесь изомера (диастереомера), составляющую менее 5%.

Важно отметить, что с триазолами **1** с длинной углеводородных заместителей от 4 и выше атомов углерода, а также гетарил- и арил-производными данного класса в описанных выше условиях добиться аналогичного превращения с образованием единственного продукта не удалось. С ростом длины алифатического заместителя существенно снижалась конверсия исходных триазолов, возрастало число побочных продуктов реакции, а содержание целевых 4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4] триазоло [1,5-а]пиримидин-7-олов оказывалось слишком низким для их выделения в приемлемых количествах. Во всех случаях получения сложносоставных продуктов взаимодействия последующие попытки выделения индивидуальных компонентов смесей с целью точного анализа их структуры не производились.

Таким образом, можно утверждать, что выбранные условия реакции позволяют получать короткоцепочечные производные класса 4,5,6,7-тетрагидротриазолопиримидинола с приемлемыми выходами, в то время как для синтеза производных с более длинным алкильным заместителем (либо иными заместителями) во втором положении триазолопиримидиновой матрицы требуется разработка других более специфических условий или методов синтеза. В рамках наших исследований это является важной задачей будущих работ ввиду высокого потенциала соединений класса 4,5,6,7-тетрагидротриазолопиримидинола в качестве ингибиторов коррозии металлов, а также с точки зрения их синтетического потенциала для дальнейших химических модификаций.

### Заключение

Таким образом, был разработан препаративный метод синтеза четырех новых производных класса 2-алкил-5-фенил-4,5,6,7-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]пиримидин-7-олов. Синтез был основан на двухстадийном взаимодействии 3-алкил-5-амино-1Н-1,2,4-триазолов с коричным альдегидом в смеси ацетона и пиперидина (9:1). Найдено, что возможность протекания данной реакции снижается с ростом длины алифатического заместителя исходного субстрата, а также при использовании в качестве сырья ароматических 3-фенил- или 3-(пиримидин-3-ил)- 5-амино-1Н-1,2,4-триазолов.

### Список литературы

1. *Fredd C. N., Fogler H. S.* Alternative stimulation fluids and their impact on carbonate acidizing // *SPE Journal*. March 1998. Vol. 3, № 1. P. 34–41. <https://doi.org/10.2118/31074-PA>
2. *Barmatov E., Geddes J., Hughes T., Nagl M.* Research on corrosion inhibitors for acid stimulation // *NACE CORROSION*. 2012. NACE-2012-1573.
3. *Авдеев Я. Г., Кузнецов Ю. И.* Физико-химические аспекты ингибирования кислотной коррозии металлов ненасыщенными органическими соединениями // *Успехи химии*. 2012. Т. 81, № 12. С. 1133–1145. <https://doi.org/10.1070/RC2012v081n12ABEH004292>
4. *Kruzhillin A. A., Shevtsov D. S., Potapov A. Yu., Shikhaliyev Kh. S., Kozaderov O. A., Prabhakar Ch., Kasatkina 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 // *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 2022. Vol. 11, № 2. P. 774–795. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-2-22>



5. Zemlyanaya N. I., Karnozhitskaya T. M., Musatov V. I., Konovalova I. S., Shishkina S. V., Lipson V. V. Synthesis and chemical transformations of 5-alkyl (phenyl)-4, 5, 6, 7-tetrahydro [1, 2, 4] triazolo [1, 5-a] pyrimidin-7-oles // *Russ. J. Org. Chem.* 2018. Vol. 54. P. 1241–1249. <https://doi.org/10.1134/S1070428018080201>
6. Lipson V. V., Karnozhitskaya T. M., Shishkina S. V., Shishkin O. V., Turov A. V. Reactions of 3-amino-1, 2, 4-triazoles with cinnamic aldehydes // *Russ. Chem. Bull.* 2009. Vol. 58. P. 1441–1444. <https://doi.org/10.1007/s11172-009-0193-1>
7. Kruzhilin A. A., Lyapun D. V., Shevtsov D. S., Kozaderov O. A., Potapov A. Yu., Zartsyn I. D., Prabhakar Ch., Shikhaliev Kh. S. New [1, 2, 4] triazolo [1, 5-a] pyrimidine-7-one corrosion inhibitors for copper in chloride environments // *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 2021. Vol. 10, № 4. P. 1474–1492. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-4-7>
8. Десенко С. М., Орлов В. Д. Азагетероциклы на основе ароматических непредельных кетонов. Харьков : Фолио, 1998. 148 с.
9. saturated organic compounds. *Russ. Chem. Rev.*, 2012, vol. 81, no. 12, pp. 1133–1145. <https://doi.org/10.1070/RC2012v081n12ABEH004292>
4. Kruzhilin A. A., Shevtsov D. S., Potapov A. Yu., Shikhaliev Kh. S., Kozaderov O. A., Prabhakar Ch., 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. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 774–795. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-2-22>
5. Zemlyanaya N. I., Karnozhitskaya T. M., Musatov V. I., Konovalova I. S., Shishkina S. V., Lipson V. V. Synthesis and chemical transformations of 5-alkyl (phenyl)-4, 5, 6, 7-tetrahydro [1, 2, 4] triazolo [1, 5-a] pyrimidin-7-oles. *Russ. J. Org. Chem.*, 2018, vol. 54, pp. 1241–1249. <https://doi.org/10.1134/S1070428018080201>
6. Lipson V. V., Karnozhitskaya T. M., Shishkina S. V., Shishkin O. V., Turov A. V. Reactions of 3-amino-1, 2, 4-triazoles with cinnamic aldehydes. *Russ. Chem. Bull.*, 2009, vol. 58, pp. 1441–1444. <https://doi.org/10.1007/s11172-009-0193-1>
7. Kruzhilin A. A., Lyapun D. V., Shevtsov D. S., Kozaderov O. A., Potapov A. Yu., Zartsyn I. D., Prabhakar Ch., Shikhaliev Kh. S. New [1, 2, 4] triazolo [1, 5-a] pyrimidine-7-one corrosion inhibitors for copper in chloride environments. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2021, vol. 10, no. 4, pp. 1474–1492. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-4-7>
8. Desenko S. M., Orlov V. D. *Azageterotsikly na osnove aromaticeskikh nepredel'nykh ketonov* [Azaheterocycles based an aromatic unsaturated ketons]. Khar'kov, Folio, 1998. 148 p. (in Russian).

## References

1. Fredd C. N., Fogler H. S. Alternative stimulation fluids and their impact on carbonate acidizing. *SPE Journal*, March 1998, vol. 3, no. 1, pp. 34–41. <https://doi.org/10.2118/31074-PA>
2. Barmatov E., Geddes J., Hughes T., Nagl M. Research on corrosion inhibitors for acid stimulation. *NACE CORROSION*. 2012. NACE-2012-1573.
3. Avdeev Ya. G., Kuznetsov Yu. I. Physicochemical aspects of inhibition of acid corrosion of metals by un-

Поступила в редакцию 14.02.2024; одобрена после рецензирования 27.02.2024; принята к публикации 05.03.2024  
The article was submitted 14.02.2024; approved after reviewing 27.02.2024; accepted for publication 05.03.2024