



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 543.544:547.784:547.784

doi: 10.17308/sorpchrom.2025.25/13288

### Хромато-масс-спектрометрическое исследование маршрута реакции 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-с][1,2,4]триазина с 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамидом

Ирина Владимировна Леденева<sup>✉</sup>, Павел Александрович Картавцев,  
Михаил Андреевич Потапов, Дмитрий Юрьевич Вандышев,  
Хидмет Сафарович Шихалиев

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, irairachem@yandex.ru<sup>✉</sup>

**Аннотация.** В рамках исследования реакционной способности и свойств частично гидрированных конденсированных *as*-триазинов проведено исследование маршрута реакции 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-с][1,2,4]триазина и 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамида с среде K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-N,N-диметилформамид (ДМФА) с использованием метода ВЭЖХ-МС в сочетании с УФ детектированием на приборе Agilent Technologies 1260 infinity с масс-детектором Agilent 6230 TOF LC/MS. Получены интегрированные сканированные хроматограммы полного ионного тока реакционных смесей сразу после смешения реагентов, а также на 5, 10 и 20 минутах протекания процесса, на основе которых производилась интерпретация сигналов по предварительно рассчитанным массам в виде молекулярных ионов с [M+H]<sup>+</sup> исходных и теоретически предполагаемых интермедиатов и образующихся веществ. Дополнительная структурная идентификация продуктов реакции осуществлялась методами тонкослойной хроматографии с УФ-детектированием, ЯМР-спектроскопии (на ядрах <sup>13</sup>C и <sup>1</sup>H, в том числе с использованием их двумерных корреляций), ИК-спектроскопии. Обнаружено, что при взаимодействии исходных компонентов реализуется два основных направления превращений, приводящих к разным перегруппировкам *as*-триазинового кольца. Преимущественное направление реакции сводится к каскадному процессу, в ходе которого происходит построение конденсированного пиримидинового цикла с образованием функционально замещенного пиразоло[1,5-*a*]пиrimидина. Другим направлением реакции является сужение *as*-триазинового цикла с образованием производного имидазоло[1,2-*b*]пиразола. Установлено также, что длительное кипячение реакционной смеси нежелательно, так как приводит к образованию продуктов формилирования за счет применения ДМФА в качестве растворителя. Таким образом, в ходе проведения исследования установлены ключевые интермедиаты реакции (в частности, 2-(4-фенил-1-(1-цианоэтил)-1H-пиразол-5-ил)имино)-N-(4-метоксифенил)ацетамид) и побочные продукты (трициклические производные пиразоло[1,5-*a*]пиrimидо[5,4-*d*]пиrimидин-4(1H)-онов, функционально замещенный имидазоло[1,2-*b*]пиразол); были подобраны оптимальные условия проведения процесса. Представленный в статье подход может использоваться при разработке методов синтеза и доказательства механизма протекания реакций в ходе построения новых функциональных материалов (лекарственных препаратов, красителей, флуоресцентных зондов и т.д.) на основе конденсированных *as*-триазиновых и пиримидиновых систем.

**Ключевые слова:** 1,4-дигидропиразоло[5,1-с][1,2,4]триазины, 2-хлорацетанилиды, перегруппировка, исследование маршрута реакции, высокоэффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрия.

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00191, <https://rscf.ru/project/25-16-00191>.

**Для цитирования:** Леденева И.В., Картавцев П.А., Потапов М.А., Вандышев Д.Ю., Шихалиев Х.С. Хромато-масс-спектрометрическое исследование маршрута реакции 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-с][1,2,4]триазина с 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамидом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2025. Т. 25, № 4. С. 606-612. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2025.25/13288>



Original article

## Chromatographic-mass spectrometric study of the reaction pathway of 4-methyl-8-phenyl-3-tosyl-1,4-dihydropyrazolo[5,1-c][1,2,4]triazine with 2-chloro-N-(4-methoxyphenyl)acetamide

Irina V. Ledenyova<sup>✉</sup>, Pavel A. Kartavtsev, Mikhail A. Potapov,  
Dmitriy Yu. Vandyshhev, Khidmet S. Shikhaliev

Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, irairachem@yandex.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** As part of a study of the reactivity and properties of partially hydrogenated condensed *as*-triazines, a study of the reaction route between 4-methyl-3-tosyl-8-phenyl-1,4-dihydropyrazolo[5,1-c][1,2,4]triazine and 2-chloro-N-(4-methoxyphenyl)acetamide in a  $K_2CO_3$ -*N,N*-dimethylformamide (DMF) medium was carried out using the HPLC-MS method in combination with UV detection on an Agilent Technologies 1260 infinity instrument with an Agilent 6230 TOF LC/MS mass detector. Integrated scanned chromatograms of the total ion current of the reaction mixtures were obtained immediately after mixing the reagents, as well as at 5, 10, and 20 minutes of the process. These chromatograms were used to interpret the signals based on pre-calculated masses in the form of molecular ions with  $[M+H]^+$  of the starting and theoretically expected intermediates and the resulting substances. Additional structural identification of the reaction products was performed using thin-layer chromatography with UV detection, NMR spectroscopy (on  $^{13}C$  and  $^1H$  nuclei, including using their two-dimensional correlations), and IR spectroscopy. It was found that the interaction of the starting components involves two main pathways of transformations leading to different rearrangements of the *as*-triazine ring. The preferred pathway of the reaction is reduced to a cascade process, during which a condensed pyrimidine ring is constructed with the formation of a functionally substituted pyrazolo[1,5-*a*]pyrimidine. Another direction of the reaction is *as*-triazine ring contraction with the formation of an imidazolo[1,2-*b*]pyrazole derivative. It was also found that prolonged heating of the reaction mixture is undesirable, since it leads to the formation of formylation products due to the use of DMF as a solvent. Thus, in the course of the study, the key reaction intermediates (in particular, 2-((1-(1-cyanoethyl)-4-phenyl-1*H*-pyrazol-5-yl)imino)-*N*-(4-methoxyphenyl)acetamide) and by-products (tricyclic derivatives of pyrazolo[1,5-*a*]pyrimido[5,4-*d*]pyrimidin-4(1*H*)-ones, functionally substituted imidazolo[1,2-*b*]pyrazole) were identified; optimal process conditions were selected. The approach presented in the article can be used in the development of methods for the synthesis and proof of the reaction mechanism during the construction of new functional materials (drugs, dyes, fluorescent probes, etc.) based on condensed *as*-triazine and pyrimidine systems.

**Keywords:** 1,4-dihydropyrazolo[5,1-*c*][1,2,4]triazines, 2-chloroacetanilides, rearrangement, reaction pathway study, high-performance liquid chromatography, mass spectrometry.

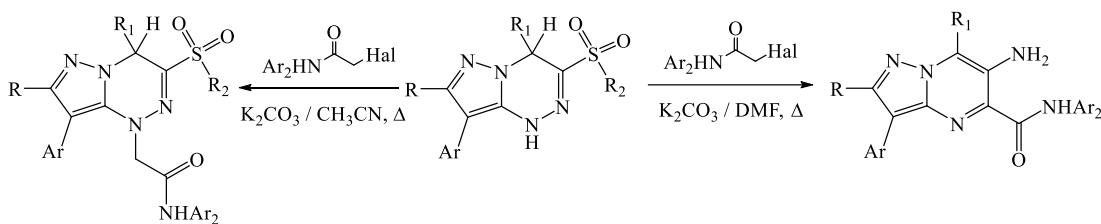
**Acknowledgments:** the research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-16-00191, <https://rscf.ru/project/25-16-00191>

**For citation:** Ledenyova I.V., Kartavtsev P.A., Potapov M.A., Vandyshhev D.Yu., Shikhaliev Kh.S. Chromatographic-mass spectrometric study of the reaction pathway of 4-methyl-8-phenyl-3-tosyl-1,4-dihydropyrazolo[5,1-*c*][1,2,4]triazine with 2-chloro-N-(4-methoxyphenyl)acetamide. *Sorbtionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2025. 25(4): 606-612. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorchrom.2025.25/13288>

### Введение

Известно, что многие гетероциклические системы под действием оснований могут подвергаться различным молекулярным перегруппировкам [1], приводящим к формированию новых связей между элементами исходного циклического каркаса. Поиск таких трансформаций позволяет разрабатывать перспективные методы получения ранее не опи-

саных в литературе и уже известных гетероциклов, применяемых в качестве лекарственных препаратов, красителей, люминофоров и т.д. Безусловный интерес исследователей в последние десятилетия вызывают системы, содержащие фрагмент *as*-триазина [2]. С участием таких соединений обнаружены некоторые нуклеофильные перегруппировки, сопровождающиеся расширением или сужением [3] цикла, замыканием новых колец [4-6].



Ar = Ph, *p*-Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *m*-Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *p*-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *p*-CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; Ar<sub>1</sub> = Ph, *p*-CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *p*-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; Ar<sub>2</sub> = Ph, *p*-Cl-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, *p*-CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; R = H, CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>OMe; R<sub>1</sub> = CH<sub>3</sub>, Ph; Hal = Cl, Br

**Схема 1. Схема взаимодействия сульфонилпроизводных 1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов с α-галогенацетанилидами в зависимости от природы растворителя [8]**  
**Scheme 1. Scheme of interaction of sulfonyl derivatives of 1,4-dihydropyrazoles[5,1-*c*][1,2,4]triazines with α-haloacetanilides depending on the nature of the solvent [8]**

В рамках исследования свойств конденсированных *as*-триазинов ранее нами было описано осуществление частичного восстановления сульфонилпроизводных пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов [7]. Продукты этого превращения далее вводились в реакции с различными галогенпроизводными в условиях основного катализа в присутствии сухого поташа [8]. При этом было установлено, что направление протекания таких реакций зависит от природы растворителя. Так, в случае применения относительно низкокипящего ацетонитрила реакции 3-метил/тозил-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов с галогеналканами и α-галогенидами производных карбоновых кислот и кетонов протекали селективно с образованием исключительно продуктов алкилирования по атому N1 дигидротриазинового кольца. В случае использования системы поташ-ДМФА в реакциях с теми же исходными компонентами в большинстве примеров проходило осмоление реакционной смеси, однако в случае введения в реакции 2-хлорацетанилидов неожиданно были выделены кристаллические продукты – замещенные пиразоло[1,5-*a*]пиридинины (Схема 1).

Целью настоящей работы являлось изучение маршрута реакции сульфонилпроизводных 1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов с α-галогенацетанилидами в среде K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-ДМФА с использованием ВЭЖХ-МС, установление побочных продуктов и подбор оптимальных условий проведения реакции.

## Экспериментальная часть

Исходный 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазин **1** получен по методике, описанной ранее [7], 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамид **2** был получен по стандартной методике из хлоруксусной кислоты и ароматического амина. В работе использовались абсолютированные растворители.

**Методика получения 6-амино-7-метил-N-(4-метоксифенил)-3-фенилпиразоло[1,5-*a*]пиридин-5-карбоксамида **3**.** Обезвоженный карбонат калия (3 ммоль) и 3.3 ммоль 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамида добавляли к раствору (3 ммоль) 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазина в 20 мл диметилформамида. Реакционную смесь нагревали при температуре 150°C в течение 20 мин (ход реакции контролировали с помощью ТСХ и ВЭЖХ-МС). Реакционную смесь охлаждали, добавляли 150 мл воды, образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали теплой водой (200 мл) и сушили при комнатной температуре. Продукт очищали методом колоночной хроматографии на силикагеле, в качестве элюента использовали хлороформ. Оранжевый порошок, т.пл. 195–197°C (из i-PrOH-AcOH), выход 0,65 г (58 %). ЯМР <sup>1</sup>H (500,13 МГц, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ 2.73 (с, 3H, OCH<sub>3</sub>), 3.78 (с, 3H, CH<sub>3</sub>), 5.99 (с, 2H, NH<sub>2</sub>), 7.00 (дт, *J* 9.03, *J* 3.42, H, H-Ar), 7.23 (м, 1H, H-Ar), 7.45 (м, 2H, H-Ar), 7.73 (дт, *J* 9.0, *J* 3.4, 2H, H-Ar), 8.19 (дт, *J* 7.2, *J* 1.1, 2H, H-Ar), 8.63 (с, 1H, H



Таблица 1. Обобщенные данные ВЭЖХ-МС исследования реакционных смесей  
Table 1. Generalized data of HPLC-MS study of reaction mixtures

Время ре-акции, мин.	Температура, °C	RT	[M+H] <sup>+</sup> , Найдено/вычислено	Площадь пика, %	Вещество/интермедиат
0	25	1.740	<u>200.0478</u> 200.0473	35.67	2
		3.257	<u>367.1226</u> 367.1224	100	1
		3.900	<u>530.1859</u> 530.1858	6.5	A
5	80	1.720	<u>200.0477</u> 200.0473	29.4	2
		3.257	<u>367.1228</u> 367.1224	100	1
		3.847	<u>530.1851</u> 530.1858	48.54	A
10	150	1.913	<u>374.1611</u> 374.1612	100	B
		3.250	<u>367.1226</u> 367.1224	7.05	1
		3.840	<u>530.1857</u> 530.1858	11.28	A
		4.733	<u>374.1621</u> 374.1618	2.66	3
20	150	1.927	<u>374.1619</u> 374.1612	26.30	B
		2.210	<u>347.1503</u> 347.1503	12.22	D
		3.280	<u>367.1228</u> 367.1224	26.56	1
		4.007	<u>412.1404</u> 412.1405	11.2	E
		4.750	<u>374.1611</u> 374.1618	100	3

C-2), 10.49 (с, 1Н, NH). ЯМР <sup>13</sup>C (125,76 МГц, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ 11.5 (CH<sub>3</sub>), 55.3 (OCH<sub>3</sub>), 109.6 (C-3), 114.0 (CH<sub>2</sub>), 122.3, 125.8, 128.7, 130.1, 130.5, 131.0, 132.0, 136.1, 137.8, 141.0, 156.2, 164.2 (C=O). Найдено, m/z: 374.1614 [M+H]<sup>+</sup>. C<sub>21</sub>H<sub>19</sub>N<sub>5</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, m/z: 374.1618 [M+H]<sup>+</sup>.

ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C спектры были зарегистрированы на спектрометре Bruker DRX-500 (500.13 и 125.76 МГц соответственно) в DMSO-*d*<sub>6</sub> с внутренним стандартом TMS. Контроль реакции и чистоту синтезированных соединений контролировали методом ТСХ на пластинках Silica gel 60 F<sub>254</sub> («Merck») с использованием хлороформа, метанола или их смесей в качестве элюента. Хроматограммы

проявляли с помощью УФ-облучения, обработкой парами йода или нагреванием пластиинки.

ВЭЖХ/МС анализ проводился на приборе Agilent Technologies 1260 infinity с масс-детектором Agilent 6230 TOF LC/MS (времяпролетный детектор масс высокого разрешения), метод ионизации – двойное электрораспыление (dual-ESI). Запись и регистрация сигналов проводилась в положительной полярности; небулизер (N<sub>2</sub>) 20 psig, газ-осушитель (N<sub>2</sub>) 6 мл/мин, 325°C; диапазон обнаружения масс составляет 50-2000 Дальтон. Напряжение на капилляре 4.0 кВ, фрагментаторе +191 В, скиммере +66 В, OctRF 750

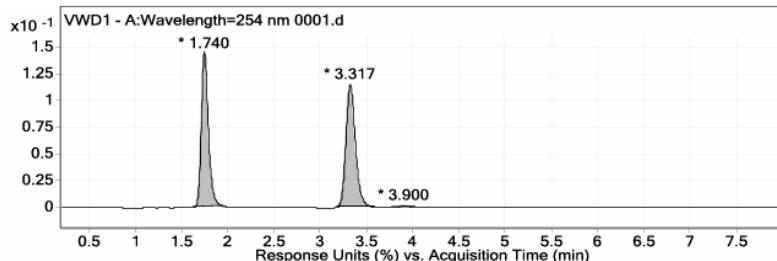


Рис. 1. Интегрированная сканированная хроматограмма полного ионного тока реакционной смеси после смещивания компонентов на холодау

Fig.1. Integrated scanned chromatogram of the total ion current of the reaction mixture after mixing the components without heating

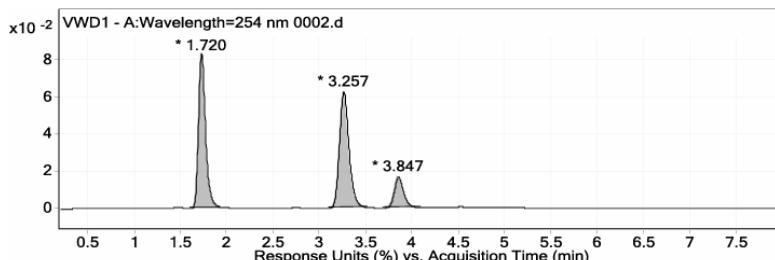


Рис. 2. Интегрированная сканированная хроматограмма полного ионного тока реакционной смеси после нагревания в течение 5 минут

Fig. 2. Integrated scanned chromatogram of the total ion current of the reaction mixture after heating for 5 minutes

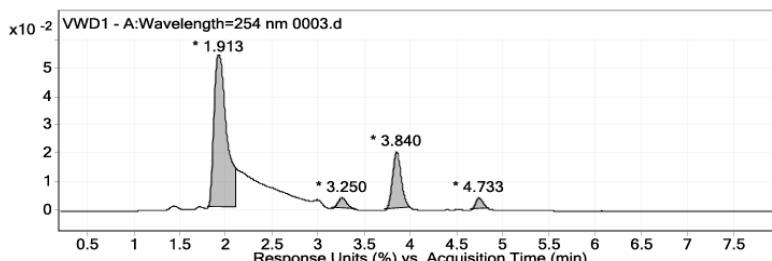


Рис. 3. Интегрированная сканированная хроматограмма полного ионного тока реакционной смеси после нагревания в течение 10 минут (начало кипения)

Fig. 3. Integrated scanned chromatogram of the total ion current of the reaction mixture after heating for 10 minutes (the beginning of boiling)

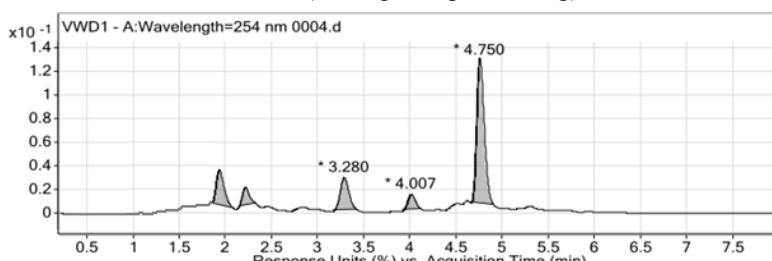


Рис. 4. Интегрированная сканированная хроматограмма полного ионного тока реакционной смеси после нагревания в течение 20 минут

Fig. 4. Integrated scanned chromatogram of the total ion current of the reaction mixture after heating for 20 minutes

В. Условия хроматографирования: колонка Poroshell 120 EC-C18 (4.6 x 50 мм; 2.7 мкм). Градиентное элюирование: ацетонитрил/вода (0.1% муравьиной кислоты); скорость потока 0.4 см<sup>3</sup>/мин. Программное обеспечение для обработки результатов исследований – MassHunter Workstation / Data Acquisition V.06.00.



Температуры плавления определены на аппарате Stuart SMP30.

## Обсуждение результатов

С целью изучения процесса протекания нового типа превращения в качестве исходных компонентов в работе были выбраны 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазин **1** с 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамид **2**. В качестве реакционной среды использовалась система K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-ДМФА.

Для понимания маршрута взаимодействия нами был проведен анализ реакционных смесей с использованием ВЭЖХ/МС анализа в сочетании с УФ детектированием. Интерпретация сигналов производилась на основе предварительно рассчитанных масс в виде молекулярных ионов с [M+H]<sup>+</sup> возможных исходных, промежуточных и образующихся веществ. Полученные интегрированные сканированные хроматограммы полного ионного тока реакционных смесей представлены на рисунках 1-4.

Установлено, что уже при смещивании субстратов при комнатной температуре начинает проявляться продукт N-алкилирования дигидропиразолтриазина (интермедиат **A**, [M+H]<sup>+</sup>=530.1858) (рисунок 1, таблица 1). Дальнейший нагрев в течение 5 мин (рисунок 2) с повышением температуры реакционной смеси до 80 °C приводил к увеличению концентрации интермедиата **A** и снижению концентрации исходных реагентов без появления побочных продуктов. Однако, когда реакционную смесь нагревали до температуры 150 °C (через 10 мин от начала реакции, рисунок 3), на хроматограмме помимо пика продукта N-алкилирования (интермедиат **A**), наблюдалось образование новых пиков: продукта раскрытия 1,4-дигидро-*as*-триазинового цикла (интермедиат **B**, [M+H]<sup>+</sup>=374.1612) и продукта перегруппировки (вероятно, через нестабильный интермедиат **C**) – замещенного пиразоло[1,5-*a*]пиrimидина **3**.

([M+H]<sup>+</sup>=374.1618, маршрут *a*). Дальнейший нагрев реакционной смеси при 150 °C (20 мин от начала реакции, рисунок 4) позволил зафиксировать максимальный пик продукта рециклизации **3** и выявить ход побочных процессов с образованием, очевидно, продукта сужения цикла – производного имидазоло[1,2-*b*]пиразола (маршрут *b*, интермедиат **D** с [M+H]<sup>+</sup>=347.1503) и продукта двойного формилирования N,N-диметилформамидом ранее образовавшегося соединения **3** (интермедиат **E** с [M+H]<sup>+</sup>=412.1405). Нагревание реакционной смеси в течение более чем 20 минут привело к значительному увеличению количества побочных продуктов, которые было трудно идентифицировать.

## Заключение

С использованием метода ВЭЖХ-МС проведено исследование маршрута реакции 4-метил-3-тозил-8-фенил-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазина и 2-хлор-N-(4-метоксифенил)ацетамида с среде K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-ДМФА. Обнаружено, что при взаимодействии исходных компонентов реализуется два основных пути, приводящих к разным перегруппировкам *as*-триазинового кольца. Преимущественное направление реакции сводится к каскадному процессу, в ходе которого происходит построение конденсированного пиридинового цикла. Другим направлением реакции является сужение *as*-триазинового цикла с образованием производного имидазоло[1,2-*b*]пиразола. Установлено также, что длительное кипячение реакционной смеси нежелательно, так как приводит к образованию продуктов формилирования.

## 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/References

1. van der Plas H.C. *J Heterocyclic Chem.* 2000; 37: 427-438.
2. Ivanov S.M. 9.02-1,2,4-Triazines and Their Benzo Derivatives / Editor(s): D. StC Black, J. Cossy, Ch. V. Stevens, in Comprehensive Heterocyclic Chemistry IV, Elsevier. 2022: 29-180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818655-8.00062-7>
3. Gazieva G.A., Karpova T.B., Nечаева Т.В., Kravchenko A.N. *Russian Chemical Bulletin.* 2016; 65(9): 2172-2182. <https://doi.org/10.1007/s11172-016-1565-y>
4. Stanforth S.P., Tarbit B., Watson M.D. *Tetrahedron Letters.* 2002; 43(34): 6015-6017. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(02\)01215-7](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(02)01215-7)
5. Ledenyova I.V., Falaleev A.V., Shikhaliev Kh.S., Ryzhkova E.A., Zubkov F.I. *Russ J Gen Chem.* 2018; 88: 73-79. <https://doi.org/10.1134/S1070363218010115>
6. Ledenyova I.V., Kartavtsev P.A., Stolpovskaya N.V., Shikhaliev Kh.S. *Russian Chemical Bulletin.* 2024; 73: 1342. <https://doi.org/10.1007/s11172-024-4252-4>
7. Ledenyova I.V., Kartavtsev P.A., Shikhaliev Kh.S., Egorova A. u. *Chemistry of Heterocyclic Compounds.* 2017; 53(10): 1128-1133. <https://doi.org/10.1007/s10593-017-2183-9>

## Информация об авторах / Information about the authors

**И.В. Леденева** – к.х.н., старший научный сотрудник кафедры органической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**П.А. Картавцев** – соискатель, кафедра органической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**М.А. Потапов** – к.х.н., научный сотрудник кафедры органической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**Д.Ю. Вандышев** – к.х.н., доцент кафедры высокомолекулярных соединений и колloidной химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**Х.С. Шихалиев** – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой органической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**I.V. Ledenyova** – Ph.D., Senior Researcher, Department of Organic Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**P.A. Kartavtsev** – Ph.D. candidate, Department of Organic Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**M.A. Potapov** – Ph.D., Researcher, Department of Organic Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**D.Yu. Vandyshев** – Ph.D., Associate Professor of High Molecular Compounds and Colloid Chemistry Department, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Kh.S. Shikhaliev** – grand Ph.D., Professor, Head of Organic Chemistry Department, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Статья поступила в редакцию 01.07.2025; одобрена после рецензирования 01.10.2025; принята к публикации 15.10.2025.

The article was submitted 01.07.2025; approved after reviewing 01.10.2025; accepted for publication 15.10.2025.