

Особенности взаимодействия (5-метил-1,3-тиазолидин-2-илиден)кетонов с тозилазидом

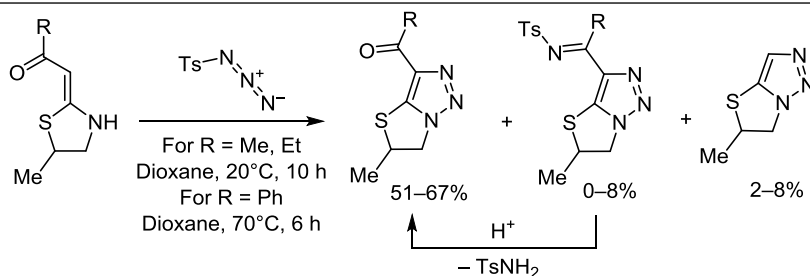
Мария Б. Литвинчук^{1*}, Антон В. Бентя¹, Леся Н. Салиева²,
Эдуард Б. Русанов¹, Михаил В. Вовк¹

¹ Институт органической химии НАН Украины,
ул. Мурманская, 5, Киев 02094, Украина; e-mail: mariia.litvinchuk@gmail.com

² Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки,
пр. Воли, 13, Луцк 43025, Украина; e-mail: lesya_nykytyuk@ukr.net

Поступило 8.05.2020

Принято 7.06.2020



(5-Метил-1,3-тиазолидин-2-илиден)кетоны, в зависимости от заместителя в илиденовой части молекулы, взаимодействуют с тозилазидом с образованием (5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)кетонов и *N*-[(5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)алкилиден]тозиламидами.

Ключевые слова: 5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазолы, (1,3-тиазолидин-2-илиден)кетоны, тозилазид.

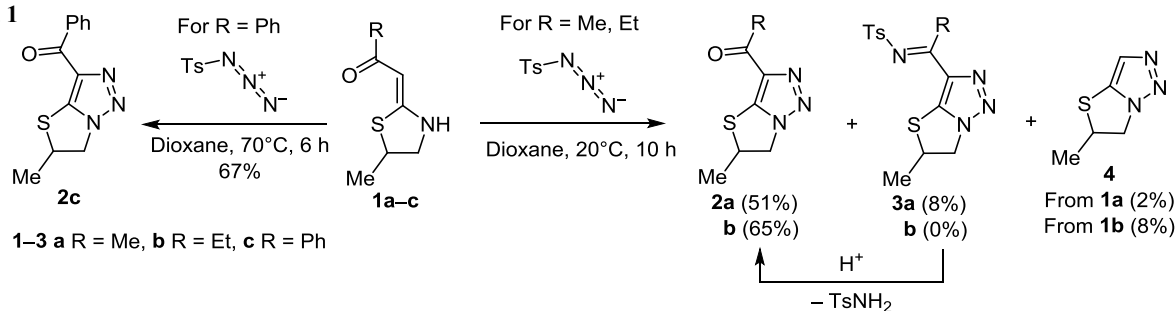
Para-толуолсульфонилазид (тозилазид, TsN₃) является доступным и широко используемым в синтетической практике реагентом. Масштаб его препаративного применения обусловлен как способностью выступать источником диазогруппы в реакции диазопереноса с метиленактивными соединениями,^{1–5} так и образовывать разнообразные производные 1,2,3-триазола за счет взаимодействия с субстратами енаминового типа.^{6–9} Кроме этого, сфера использования тозилазида включает селективное каталитическое амидирование ароматических, α,β-непредельных карбонильных¹⁰ и индольных¹¹ соединений, а также эффективный синтез тозил-амидинов.^{12,13} Следует отметить и ряд интересных работ по применению тозилазида в катализируемом переходными металлами получении конденсированных систем: 1,2,3-триазолопиримидинов,¹⁴ 1,2,3-триазолопиридоиндолов¹⁵ и тозиламинохинолинов.¹⁶

В силу синтетического значения^{17–20} и биологической привлекательности²¹ предметом нашего интереса стали тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазолы, которые обычно получают окислительной циклизацией гидразонов 2-ацил-1,3-тиазолов.^{18–20} Имеется также одно сообщение²² о синтезе такого типа соединений [3+2]-циклоприсоединением тозилазида к циклическим 2-ароил-

S,N-кетенацеталам. Представлялось обоснованным изучить в аналогичном процессе недавно синтезированные нами (5-метил-1,3-тиазолидин-2-илиден)кетоны **1a–c**, енаминный фрагмент которых уже был успешно использован в циклоконденсациях с активированными алкенами и алкинами,²³ а также 1-хлорбензилизотиоцианатами.²⁴

При исследовании взаимодействия тозилазида с соединениями **1a–c** выявлено, что реакция с метил- и этилкетонами **1a,b** протекает в растворе диоксана при комнатной температуре в течение 10 ч и, по данным спектра ЯМР ¹H и масс-спектров, приводит к образованию смеси трех типов продуктов триазолоанелирования 1,3-тиазолидинового цикла в следующих соотношениях: соединения **2a:3a:4** = 68:25:7, соединения **2b:3b:4** = 79:8:13. Однако в случае фенолкетона **1c** такое взаимодействие реализуется только при нагревании в растворе диоксана в течение 6 ч при 70 °C и отличается высокой хемоселективностью: реакционная смесь содержит только 5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол **2c** (схема 1). Следует отметить, что взаимодействие соединений **1a,b** с тозилазидом при 70 °C в диоксане в течение 10 ч не приводит к изменениям количественного и качественного состава

Схема 1



реакционной смеси. Кроме этого, продуктами превращения являются тозиламид, а в случае соединений **1a,b** также его *N*-ацилпроизводные. Разделение полученных смесей продуктов методом колоночной хроматографии на силикагеле позволило выделить тиазолотриазолы **2a–c** с препаративными выходами 51–67%. При этом было обнаружено, что в процессе хроматографирования иминопредшественники **3a,b** подвергаются частичному или полному гидролизу иминотозилной группы, образуя кетопредшественники **2a,b**. Вследствие этого соединения **3a** было получено с препаративным выходом всего 8%, а его аналог **3b** вообще не был обнаружен в продуктах разделения. Возможность протекания такой реакции была подтверждена независимым экспериментом по превращению иминопредшественника **3a** в кетопредшественник **2a** в присутствии каталитических количеств трифторуксусной кислоты. Соединение **4** было выделено из реакционной смеси с выходами 2% в случае кетона **1a** и 8% в случае кетона **1b**.

Соединения **2a–c** представляют собой стабильные твердые вещества, характеризующиеся в спектрах ЯМР ^1H дублетами протонов метильной группы при 1.67–1.70 м. д. с КССВ 6.2–6.8 Гц, а также мультиплетами протонов тиазолидинового цикла при 4.20–4.31 и 4.64–4.79 м. д. В их ИК спектрах имеются полосы поглощения экзоциклических карбонильных групп в интервале 1666–1671 cm^{-1} .

Образования продуктов, аналогичных соединениям **3a,b**, которые формально являются тозилиминопредшественниками соответствующих 3-ацилтиазоло[3,2-*c*][1,2,3]-триазолов, ранее в реакции тозилазидов со структурно близкими циклическими 2-ароил-*S,N*-кетенацетальми²² или енаминокетонами^{5–8} не наблюдалось. Наличие в спектре ЯМР ^1H тиазолотриазола **3a** удвоенных сигналов всех типов протонов в примерном соотношении 0.1:0.9 указывает на его возможное существование в растворе CDCl_3 в виде смеси *син*- и *анти*-изомеров с вероятным преобладанием последнего, однако является недостаточно доказательным для определения его структуры. По этой причине для точного установления строения данного соединения в кристаллическом состоянии было выполнено его рентгеноструктурное исследование (рис. 1).

В структуре **3a** распределение длин связей обычно для подобных гетероциклических систем и в целом не имеет особенностей, за исключением длин связей S(1)–C(3) и S(1)–C(1A), которые существенно различаются (1.727(2) и 1.874(3) Å соответственно), что может быть объяснено сопряжением НЭП атома серы с π -системой триазольного цикла, которое приводит к

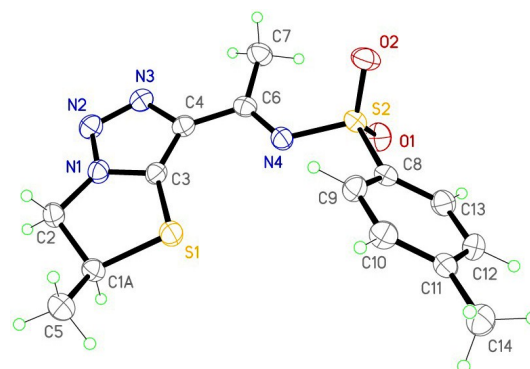


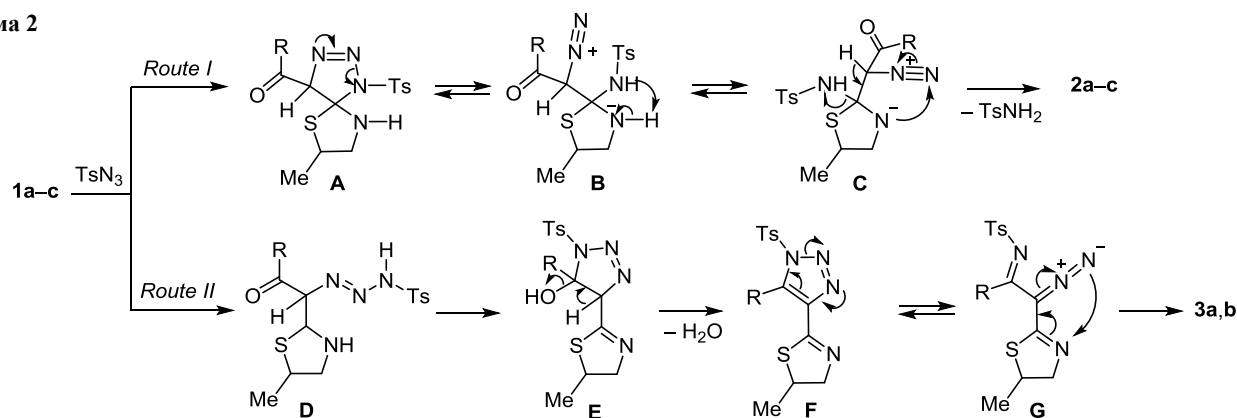
Рисунок 1. Молекулярное строение соединения **3a** (атомы представлены эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью, на рисунке показан только разупорядоченный атом C(1A)) и его основные геометрические параметры (длины связей указаны в Å, значения углов в град.): N(1)–C(2) 1.456(3), N(1)–C(3) 1.338(2), N(1)–N(2) 1.357(2), N(2)–N(3) 1.307(2), N(3)–C(4) 1.379(3), C(3)–C(4) 1.380(3), N(4)–C(6) 1.302(3), S(2)–N(4) 1.6492(17), S(2)–C(8) 1.759(2); C(3)–N(1)–N(2) 111.85(17), C(3)–N(1)–C(2) 117.97(17), N(2)–N(1)–C(2) 130.00(16), N(3)–N(2)–N(1) 106.51(16), N(2)–N(3)–C(4) 109.40(16), C(6)–N(4)–S(2) 119.92(14), C(3)–S(1)–C(1A) 90.37(11), C(6)–N(4)–S(2) 119.92(14), N(4)–S(2)–C(8) 100.57(9).

укорочению соответствующей связи S(1)–C(3), в то время как атом C(1) имеет sp^3 -гибридизацию и сопряжение отсутствует.

1,2,3-Триазольный цикл, как и ожидалось, планарен, среднеквадратичный выход атомов из плоскости составляет 0.0036 Å, при этом атом серы дигидротриазольного цикла также лежит в этой плоскости, атом C(2) слегка (0.103(3) Å) выходит из этой плоскости, а атом C(1A) выходит из плоскости на –0.393(5) Å. Таким образом, дигидротриазольный цикл принимает конформацию "конверт". Группировка N(4)–C(6)(C(7))–C(4) фактически копланарна триазольному циклу (диздральный угол между этими плоскостями составляет лишь 2.91(15)°, что благоприятно для сопряжения π -системы связи C(6)=N(4) с триазольным циклом и приводит к сокращению связи C(4)–C(6) до 1.448(3) Å. Фенильный цикл C(8)–C(9)–C(10)–C(11)(C(14))–C(12)–C(13) развернут относительно триазольного цикла на 41.61(9)°.

В спектре ЯМР ^1H 5-метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-*c*][1,2,3]триазола (**4**), кроме типичных сигналов протонов триазольного цикла, также имеется синглет метинового протона триазольного цикла при 7.35 м. д. Выделение данного соединения в небольших количествах, вероятно, обусловлено побочной реакцией деацилирования соединений **2a,b**, в ходе которой

Схема 2



происходит образование *N*-ацилтозилсульфамидов, зафиксированных методом хромато-масс-спектрометрии.

Наиболее вероятно, что реализация двух направлений реакции, приводящих к продуктам **2a–c** и **3a,b**, обусловлена влиянием ацильных заместителей в илиденпроизводных **1a–c** на их способность вступать во взаимодействие с тозилазидом в качестве C=C-диполярофилов (путь I) или же в качестве β-C-нуклеофилов (путь II, схема 2). Первое направление (путь I) является единственным в случае наиболее акцепторного бензоильного заместителя (соединение **1c**) или преобладающим в случае менее акцепторных ацетильного или пропаноильного заместителей (соединения **1a,b**) и протекает через стадию образования промежуточного соединения **A**,^{6,7} для которого характерно равновесие с соответствующим диазопроизводным **B**.^{25,26} Его трансформация в интермедиат **C** с последующим закрытием триазольного цикла и дезаминированием приводит к продуктам **2a–c**. Во втором случае (путь II), вследствие атаки β-атома углерода на терминальный атом азота тозилазида, образуется интермедиат **D**,²⁷ который через стадию промежуточных триазолов **E** и **F** посредством диазоинтермедиата **G** перегруппировывается по Димроту в тозилимины **3a,b**.

Таким образом, на примере реакции (5-метил-1,3-тиазолидин-2-илиден)кетонс с тозилазидом продемонстрировано, что в случае субстратов, содержащих в илиденном фрагменте молекулы ацетильный и пропаноильный заместители, наряду с ожидаемыми производными 3-ацил[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазола, образуются соответствующие *N*-(3-алкилиден)тозиламиды.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на приборе Bruker Vertex 70 в таблетках KBr. Спектры ЯМР ¹H записаны на спектрометре Varian VXR-400 (400 МГц) в импульсном фурье-режиме в CDCl₃. Спектры ЯМР ¹³C записаны на спектрометре Bruker Avance DRX-500 (126 МГц) в импульсном фурье-режиме в CDCl₃. Внутренний стандарт для спектров ЯМР ¹H и ¹³C – ТМС. Масс-спектры записаны на приборе Agilent LC/MSD SL; колонка Zorbax SB-C18, 4,6 × 15 мм, 1,8 мкм (PN 82(c)75-932); растворитель ДМСО, ионизация электрораспылением при атмосферном давлении. Элементный анализ выполнен на приборе PerkinElmer CHN Analyzer серии

2400 в аналитической лаборатории Института органической химии НАН Украины. Температуры плавления определены на столике Кофлера и не исправлены. Для колоночной хроматографии использован силикагель Merck 60 (40–63 мкм).

Соединения **1a–c**²³ и тозилазид²⁸ получены по литературным методам.

Синтез соединений 2a–c, 3a, 4 (общая методика). К раствору 10 ммоль (1,3-тиазолидин-2-илиден)кетона **1a–c** в 15 мл диоксана добавляют 2,37 г (12 ммоль) тозилазида. Полученную смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 10 ч (в случае соединений **1a,b**) или в течение 6 ч при 70 °С (в случае соединения **1c**) и упаривают при пониженном давлении. Полученный остаток очищают методом колоночной хроматографии (элюент CHCl₃–MeOH, 100:1 в случае соединений **2a,b**, **3a** и CHCl₃–МТБЭ, 4:1 в случае соединения **2c**). Соединение **3a** перекристаллизовывают из смеси гексан–EtOAc, 7:3.

1-(5-Метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)етан-1-он (2a). Выход 0,93 г (51%), белый порошок, т. пл. 96–97 °С. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1671 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 1,67 (3H, д, ³J = 6,8, CH₃); 2,63 (3H, с, CH₃CO); 4,20–4,25 (1H, м, CHS); 4,64–4,76 (2H, м, CH₂N). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 21,1; 26,4; 51,6; 54,2; 139,9; 143,4; 191,7. Масс-спектр, m/z (I_{отн.}, %): 184 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 46,09; Н 4,84; N 23,08. C₇H₉N₃OS. Вычислено, %: С 45,88; Н 4,95; N 22,93.

1-(5-Метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)пропан-1-он (2b). Выход 1,28 г (65%), белый порошок, т. пл. 102–103 °С. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1670 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 1,22 (3H, т, ³J = 7,4, CH₂CH₂); 1,67 (3H, д, ³J = 6,5, CH₃); 3,08 (2H, к, ³J = 7,3, CH₂CH₂); 4,20–4,24 (1H, м, CHS); 4,64–4,75 (2H, м, CH₂N). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 7,8; 21,1; 32,0; 51,5; 54,1; 139,4; 143,3; 194,8. Масс-спектр, m/z (I_{отн.}, %): 198 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 48,89; Н 5,71; N 21,16. C₈H₁₁N₃OS. Вычислено, %: С 48,71; Н 5,62; N 21,30.

(5-Метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)(фенил)метанон (2c). Выход 5,53 г (67%), желтый порошок, т. пл. 104–105 °С. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1626 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 1,70 (3H, д, ³J = 6,2, CH₃); 4,24–4,31 (1H, м, CHS); 4,70–4,79 (2H, м, CH₂N); 7,52 (2H, т, ³J = 7,6, Н Ph); 7,60 (1H, т, ³J = 7,4, Н Ph); 8,51 (2H, д, ³J = 7,8, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 21,1; 51,4; 54,2; 128,5; 130,6; 133,2; 136,2; 140,1; 147,0;

184.4. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 246 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 58.97; Н 4.46; N 17.25. $C_{12}H_{11}N_3OS$. Вычислено, %: С 58.76; Н 4.52; N 17.13.

4-Метил-N-[(1E)-1-(5-метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)этилиден]бензолсульфон-амид (3a). Выход 0.27 г (8%), белый порошок, т. пл. 128–129 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1645 (C=N). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.41 (0.3H, д, $^3J = 6.6$, CH_3); 1.62 (2.7H, д, $^3J = 6.5$, CH_3); 2.44 (3H, с, CH_3 Ts); 2.91 (0.3H, с, $CH_3C=N$); 3.02 (2.7H, с, $CH_3C=N$); 3.98–4.05 (0.2H, м, CHS); 4.18–4.24 (0.9H, м, CHS); 4.37–4.44 (0.1H, м, CH_2N); 4.59–4.69 (1.8H, м, CH_2N); 7.33 (1.8H, д, $^3J = 8.0$, H Ar); 7.39 (0.2H, д, $^3J = 8.0$, H Ar); 7.91 (1.8H, д, $^3J = 8.0$, H Ar); 7.97 (0.2H, д, $^3J = 8.0$, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.6; 21.0; 21.7; 51.4; 54.4; 127.1; 129.5; 138.7; 138.9; 143.6; 144.3; 172.9. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 337 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 49.82; Н 4.88; N 16.78. $C_{14}H_{16}N_4O_2S_2$. Вычислено, %: С 49.98; Н 4.79; N 16.65.

4-Метил-N-[(1E)-1-(5-метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол-3-ил)пропилиден]бензолсульфон-амид (3b). Соединение нестабильно и в чистом виде не выделено, в процессе хроматографирования подвергается гидролизу иминотозильной группы.

5-Метил-5,6-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-с][1,2,3]триазол (4). Выход 28 мг (2%, из соединения **1a**), 0.11 г (8% из соединения **1b**), светло-желтое масло. Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.63 (3H, д, $^3J = 6.5$, CH_3); 4.15–4.21 (1H, м, CHS); 4.59–4.67 (2H, м, CH_2N); 7.35 (1H, с, CHN). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 20.5; 50.9; 54.1; 126.1; 137.8. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 142 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 42.71; Н 4.90; N 29.88. $C_5H_7N_3S$. Вычислено, %: С 42.53; Н 5.00; N 29.76.

Рентгеноструктурное исследование монокристалла соединения 3a с линейными размерами $0.23 \times 0.24 \times 0.45$ мм проведено при 173 К на дифрактометре Bruker Smart Apex II (MoK α -излучение, графитовый монохроматор, $\theta_{\text{макс}}$ 26.4°, сегмент сферы $-12 \leq h \leq 10$, $-14 \leq k \leq 15$, $-12 \leq l \leq 16$). Кристаллы соединения **3a** ($C_{14}H_{16}N_4O_2S_2$, M 336.42) моноклинные; пространственная группа $P2_1/n$; a 10.3815(2), b 12.0213(3), c 13.0249(3) Å; β 106.4805(14)°; V 1558.71(6) Å³; Z 4; $d_{\text{кал}}$ 1.434 г/см³; μ 0.354 мм⁻¹; $F(000)$ 704. Всего собрано 15489 отражений, из которых 3186 являются независимыми (R -фактор усреднения 0.0383). Введена коррекция поглощения по программе SADABS методом мульти-сканирования (отношение $T_{\text{мин}}/T_{\text{макс}} = 0.6781/0.7454$). Структура расшифрована прямым методом и уточнена МНК в полноматричном анизотропном приближении с использованием комплекса программ Bruker SHELXTL.²⁹ Атом С(1) разупорядочен по двум позициям А и В с заселенностью 79 и 21% соответственно. Положения всех атомов водорода рассчитаны геометрически и уточнены по модели "наездник". Окончательные значения факторов расходимости $R_1(F)$ 0.0383, $wR_2(F^2)$ 0.0958 по 2594 отражениям с $I > 2\sigma(I)$, $R_1(F)$ 0.0499, $wR_2(F^2)$ 0.1036, GOF 1.032 по всем независимым отражениям, 211 уточняемых параметров, использована весовая схема $\omega = 1/(\sigma^2(F_o^2) + (0.0513P)^2 + 0.7941P)$, где $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$, отношение максимального (среднего) сдвига к погрешности в последнем цикле

0.009(0.00). Остаточная электронная плотность из разностного ряда Фурье после последнего цикла уточнения 0.36 и -0.29 е/Å³. Полные рентгеноструктурные данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 2000216).

Список литературы

- Regitz, M. *Synthesis* **1972**, 351.
- Presset, M.; Mailhol, D.; Coquerel, Y.; Rodriguez, J. *Synthesis* **2011**, 2549.
- Ramachary, D. B.; Ramakumar, K.; Narayana, V. V. *Chem.–Eur. J.* **2008**, *14*, 9143.
- Jones, G.; Mouat, D. J.; Pitman, M. A.; Lunt, E.; Lythgoe, D. J. *Tetrahedron* **1995**, *51*, 10969.
- Cheng, G.; Zeng, X.; Shen, J.; Wang, X.; Cui, X. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2013**, *52*, 13265.
- Bakulev, V. A.; Beryozkina, T.; Thomas, J.; Dehaen, W. *Eur. J. Org. Chem.* **2018**, 262.
- Iminov, R. T.; Mashkov, A. V.; Chalyk, B. A.; Mykhailiuk, P. K.; Tverdokhlebov, A. V.; Tolmachev, A. A.; Volovenko, Y. M.; Shishkin, O. V.; Shishkina, S. V. *Eur. J. Org. Chem.* **2013**, 2891.
- Yang, L.; Wu, Y.; Yang, Y.; Wen, C.; Wan, J.-P. *Beilstein J. Org. Chem.* **2018**, *14*, 2348.
- Efimov, I.; Bakulev, V.; Beliaev, N.; Beryozkina, T.; Knippschild, U.; Leban, J.; Zhi-Jin, F.; Eltsov, O.; Slepukhin, P.; Ezhikova, M.; Dehaen, W. *Eur. J. Org. Chem.* **2014**, 3684.
- Kim, J.; Chang, S. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2014**, *53*, 2203.
- Sun, B.; Yoshino, T.; Matsunaga, S.; Kanai, M. *Adv. Synth. Catal.* **2014**, *356*, 1491.
- Cassani, F.; Celentano, G.; Erba, E.; Pocar, D. *Synthesis* **2004**, 1041.
- Gao, T.; Zhao, M.; Meng, X.; Li, C.; Chen, B. *Synlett* **2011**, 1281.
- Yavari, I.; Taheri, Z.; Nematpour, M.; Shekhi, A. *Synlett* **2014**, 2036.
- Jana, S.; Vroemans, R.; Dehaen, W. *Adv. Synth. Catal.* **2017**, *359*, 3085.
- Kumar, Y. K.; Kumar, G. R.; Reddy, T. J.; Sridhar, B.; Reddy, M. S. *Org. Lett.* **2015**, *17*, 2226.
- Jones, G.; Ollivierre, H.; Fuller, L. S.; Young, J. H. *Tetrahedron* **1991**, *47*, 2861.
- Jones, G.; Ollivierre, H.; Fuller, L. S.; Young, J. H. *Tetrahedron* **1991**, *47*, 2851.
- Raghavendra, M. S.; Lam, Y. *Tetrahedron Lett.* **2004**, *45*, 6129.
- Prakash, O.; Gujral, H. K.; Rani, N.; Singh, S. P. *Synth. Commun.* **2000**, *30*, 417.
- Ranade, A. R.; Higgins, L.; Markowski, T. W.; Glaser, N.; Kashin, D.; Bai, R.; Hong, K. H.; Hamel, E.; Höfle, G.; Georg, G. I. *J. Med. Chem.* **2016**, *59*, 3499.
- Chakrasali, R. T.; Ila, H.; Junjappa, H. *Synthesis* **1988**, 851.
- Litvinchuk, M. B.; Bentya, A. V.; Slyvka, N. Y.; Vovk, M. V. *J. Org. Pharm. Chem.* **2018**, *16*, 18. [*Журн. орган. фарм. химии* **2018**, *16*, 18.]
- Litvinchuk, M. B.; Bentya, A. V.; Slyvka, N. Yu.; Rusanov, E. B.; Vovk, M. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2020**, *56*, 101. [*Химия гетероцикл. соединений* **2020**, *56*, 101.]
- Gilchrist, T. L.; Gymer, G. E. In *Advances in Heterocyclic Chemistry*; Katritzky, A. R.; Boulton, A. J., Ed.; Elsevier: New York, 1974, vol. 16, p. 33.
- Sheng, G.; Huang, K.; Chi, Z.; Ding, H.; Xing, Y.; Lu, P.; Wang, Y. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 5096.
- Huang, Z.-T.; Wang, M.-X. *J. Org. Chem.* **1992**, *57*, 184.
- Ghosh, A. K.; Bischoff, A.; Cappiello, J. *Eur. J. Org. Chem.* **2003**, 821.
- Sheldrick, G. M. *Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr.* **2008**, *A64*, 112.