



ХИМИЯ

УДК 547.415.1'435.1'484.2'745.04:543.422.25

Реакции (трифтор)ацилирования бензопирролоимидазолонов в различных условиях

В. С. Гринёв, Н. А. Барабанов, Е. И. Линькова, А. Ю. Егорова

Гринёв Вячеслав Сергеевич, кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского; старший научный сотрудник лаборатории биохимии, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, grinev@ibppm.ru

Барабанов Никита Александрович, студент 4-го курса Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, nek_bar@hotmail.com

Линькова Елена Ивановна, аспирант кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, alenaj2006@rambler.ru

Егорова Алевтина Юрьевна, доктор химических наук, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, yegorovaay@gmail.com

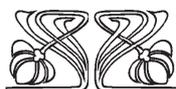
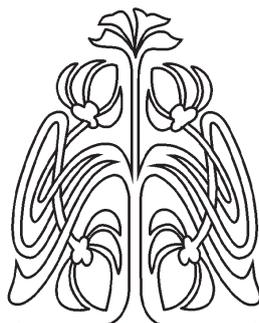
Введение (трифтор)ацетильного фрагмента в различные гетероциклы позволяет варьировать их физико-химические свойства, изменять характер и степень проявления биологической активности, а также проводить дальнейшие химические превращения. Вместе с тем современные методы органической химии направлены, в том числе, на увеличение эффективности известных и широко применяемых химических реакций и возможность направления по другим путям при проведении синтеза в условиях, отличных от классических. В настоящем исследовании реакции (трифтор)ацетилирования За-арилзамещенных бензопирролоимидазолонов проведены при нагревании в соответствующем ацилирующем агенте как в классических условиях термического нагрева, так и в реакторе Mopowave 50 в герметичном сосуде. Показано, что (трифтор)ацилирование бензопирролоимидазолонов в изученных условиях проходит по вторичной аминогруппе, не затрагивая другие возможные реакционные центры. Структуры полученных соединений доказаны с помощью совокупности данных ИК, ЯМР ^1H , ^{13}C спектроскопии. Отмечено, что способ синтеза с применением техники герметичных сосудов более предпочтителен, так как позволяет получать продукты за более короткое время, с меньшим расходом растворителей и с более высоким выходом.

Ключевые слова: (трифтор)ацилирование, ацилирование, бензопирролоимидазолон, вторичная аминогруппа, классические условия нагрева, нагрев в герметичном сосуде.

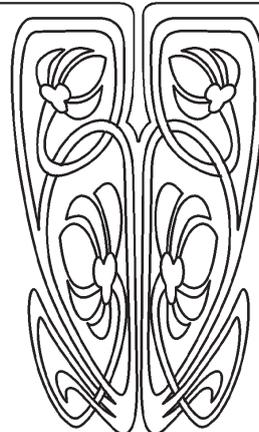
DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-252-256>

Введение

Реакции ацилирования ароматических аминов часто используются для защиты аминогруппы [1, 2]. Введение (трифтор)ацетильного фрагмента в различные гетероциклические системы позволяет варьировать их физико-химические свойства с целью, в том числе, увеличения биодоступности для различных организмов [3, 4], может



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





приводить к появлению новых видов активности [5], а также проводить дальнейшие химические превращения [6]. В последнее время модификация (трифтор)ацилированием получила широкое распространение для синтеза различных гетероциклических соединений, в частности была применена для получения дибенз[с,е]азепинов путем внутримолекулярного прямого арилирования с переносом хиральности [7], а также получения 3-амино- и 3-нитро-2,3-дидеоксисахаров [8].

В настоящее время активно ведутся исследования, направленные на увеличение эффективности различных реакций, позволяющих получать биологически активные молекулы с более высоким выходом в более мягких условиях. Использование реактора Monowave 50, работающего с герметично закрытыми сосудами, позволяет добиться эффективности синтеза, близкой к микроволновой активации [9].

Материалы и методы

Реакции в условиях герметичных сосудов проводились в реакторе Monowave 50 (Anton Paar, Австрия). Элементный анализ проводился на CHNS-анализаторе Elementar Vario Micro cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия). ИК спектры снимали на ИК фурье-спектрометре Nicolet 6700 (Thermo Scientific, США) в таблетках KBr. Спектры ЯМР ^1H (400 МГц) и ^{13}C (100 МГц) регистрировались на спектрометре Varian 400 (Varian, США) в CDCl_3 или $\text{DMCO}-d_6$, внутренний стандарт – ТМС. Однородность соединений подтверждали методом ТСХ на пластинках Alugram® Sil G UV254 (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Германия), элюент – этилацетат – гексан – хлороформ (2 : 2 : 1); проявляли в УФ свете (длина волны 254 нм).

4-Ацетил-3а-фенил-2,3,3а,4-тетрагидро-1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-он (1a).

Метод А. В круглодонную колбу объемом 50 мл, снабженную обратным холодильником, помещают 0.5 г (2 ммоль) 3а-фенил-2,3,3а,4-тетрагидро-1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-она, приливают 15 мл ледяной уксусной кислоты либо 10 мл трифторуксусного ангидрида и 5 мл трифторуксусной кислоты. Реакционную смесь нагревают в течение 1–2 ч, после охлаждения нейтрализуют насыщенным водным раствором соды, выпавший осадок отфильтровывают, перекристаллизовывают из этанола.

Метод Б. В герметичную виалу из боросиликатного стекла, снабженную фторопластовой септой и силиконовой крышкой, помещают 0.1 г (0.4 ммоль) 3а-фенил-2,3,3а,4-тетрагидро-

1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-она, 1.5 мл ледяной уксусной кислоты либо 1 мл трифторуксусного ангидрида и 0.5 мл трифторуксусной кислоты и нагревают в реакторе Monowave 50 при температуре 150° С в течение 2 мин. После охлаждения реакционную смесь нейтрализуют насыщенным водным раствором соды, выпавший осадок отфильтровывают, перекристаллизовывают из этанола.

Метод А: выход 0.44 г (75%); метод Б: выход 0.09 г (80%), светло-бежевые кристаллы, т. пл. 149–150° С. ИК спектр, см^{-1} : 1688 (C=O, Амид I), 1642 ($\text{CH}_3\text{C}=\text{O}$, Амид I). ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.15 с (3H, Ac), 2.71 т (2H, CH_2 , J 4 Гц), 3.40 т (2H, CH_2 , J 4 Гц), 7.06–8.26 м (9H, Ar). ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 24.0 (Ac, CH_3), 30.6 (CH_2), 34.0 (CH_2), 85.8 ($\text{C}_{\text{четв}}$), 124.8–136.3 (Ar), 169.7 (Ac, C=O), 171.7 (C=O). Найдено, %: C 73.49; H 5.29; N 9.79. $\text{C}_{18}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C, 73.95; H, 5.52; N, 9.58.

Аналогично получают соединения **1b-d**.

4-Ацетил-3а-(n-толил)-2,3,3а,4-тетрагидро-1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-он (1b).

Метод А: выход 0.42 г (69%); метод Б: выход 0.09 г (73%), светло-бежевые кристаллы, т.пл. 200–202° С. ИК спектр, см^{-1} : 1687 (C=O, Амид I), 1644 ($\text{CH}_3\text{C}=\text{O}$, Амид I). ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.22 с (3H, Ac), 2.31 с (3H, CH_3), 2.77 т (2H, CH_2 , J 4 Гц), 3.45 т (2H, CH_2 , J 4 Гц), 7.11–8.15 м (8H, Ar). ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 21.7 (CH_3), 24.2 (Ac, CH_3), 30.8 (CH_2), 34.1 (CH_2), 83.8 ($\text{C}_{\text{четв}}$), 124.6–129.4 (Ar), 170.1 (Ac, C=O), 171.2 (C=O). Найдено, %: C 74.27; H 5.68; N 9.31. $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C, 74.49; H, 5.92; N, 9.14.

4-(2,2,2-Трифторацетил)-3а-фенил-2,3,3а,4-тетрагидро-1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-он (1c).

Метод А: выход 0.50 г (72%); метод Б: выход 0.11 г (82%), светло-бежевые кристаллы, т. пл. 138–142° С. ИК спектр, см^{-1} : 1716 ($\text{CF}_3\text{C}=\text{O}$), 1685 (C=O, Амид I). ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.05 м (2H, CH_2), 3.79 м (2H, CH_2), 7.18–7.63 м (9H, Ar). ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 29.2 (CH_2), 35.8 (CH_2), 92.1 ($\text{C}_{\text{четв}}$), 116.6 кв ($J_{\text{C-F}} = 290$ Гц, CF_3), 125.8–132.3 (Ar), 155.0 кв ($J_{\text{C-F}} = 37$ Гц, CF_3CO), 173.6 (C=O). Найдено, %: C 62.23; H 3.73; N 8.13. $\text{C}_{18}\text{H}_{13}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C, 62.43; H, 3.78; N, 8.09.

4-(2,2,2-Трифторацетил)-3а-(n-толил)-2,3,3а,4-тетрагидро-1H-бензо[d]пирроло[1,2-а]имидазол-1-он (1d).

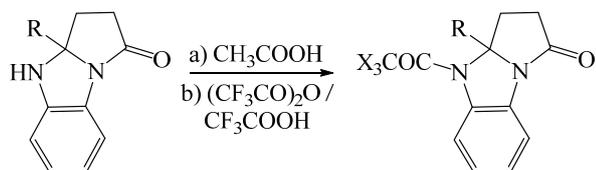
Метод А: выход 0.48 г (67%); метод Б: выход 0.10 г (73%), светло-бежевые кристаллы, т. пл. 188–192° С. ИК спектр, см^{-1} : 1718 ($\text{CF}_3\text{C}=\text{O}$), 1686 (C=O, Амид I). ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.04 м (2H,



CH₂), 2.27 с (3H, CH₃), 3.77 м (2H, CH₂), 7.08–7.65 м (8H, Ar). ЯМР ¹³C, δ, м.д.: 20.5 (CH₃), 28.8 (CH₂), 35.7 (CH₂), 91.8 (C_{четв}), 116.5 кв (J_{C-F} = 290 Гц, CF₃), 125.7–140.7 (Ar), 162.1 кв (J_{C-F} = 37 Гц, CF₃CO), 173.6 (C=O). Найдено, %: С 63.56; Н 4.53; N 7.56. C₁₉H₁₅F₃N₂O₂. Вычислено, %: С, 63.33; Н, 4.20; N, 7.77.

Результаты и их обсуждение

Реакции (трифтор)ацелирования нами проведены как в классических условиях, при нагревании в соответствующей кислоте, так и в реакторе Monowave 50 (герметичный сосуд). В обоих случаях ацилирующим агентом служили ледяная уксусная кислота либо трифторуксусный ангидрид. После проведения синтеза реакционную смесь нейтрализовали насыщенным раствором соды, в результате были выделены кристаллические вещества светлой окраски, которые по совокупности данных элементного анализа, ИК, ЯМР ¹H и ¹³C спектроскопии были охарактеризованы как 4-ацетил- (**1a,b**) и 4-(2,2,2-трифторацетил)-3а-арил-2,3,3а,4-тетрагидро-1*H*-бензо[*d*]пирроло[1,2-*a*]имидазол-1-оны (**1c,d**):



1a: R = Ph, X = H; **1b:** R = *p*-Tol, X = H;
1c: R = Ph, X = F; **1d:** R = *p*-Tol, X = F.

Следует отметить, что строение получаемых продуктов **1a-d** не зависело от способа синтеза, что подтверждалось идентичностью их физико-химических и спектральных характеристик. Тем не менее способ синтеза с применением техники герметичных сосудов позволяет получать продукты за более короткое время, с меньшим расходом растворителей и с несколько более высоким выходом (67–75% в классических условиях и 73–82% в реакторе Monowave 50) (таблица).

Время проведения реакций и выходы продуктов
The Reaction Time and Yields of the Products

Вещество / Product	Метод А / Method A		Метод Б / Method B	
	Время, мин / Time, min	Выход, % / Yield, %	Время, мин / Time, min	Выход, % / Yield, %
1a	120–180	75	2	80
1b		69		73
1c		72		82
1d		67		73

В литературе [3] известны реакции ацилирования трифторуксусным ангидридом индолохалконов с участием ароматического кольца, активность ароматического фрагмента изучаемых соединений в реакциях с электрофильными агентами подтверждена также образованием продуктов алкилирования и азосочетания с солями диазония [10]. Этот факт дает основание не исключать возможности ацилирования бензопирролонового фрагмента.

Спектральные характеристики свидетельствуют о том, что вне зависимости от выбранных условий проведения синтеза ацилирование проходит по вторичной аминогруппе исходных бензопирролоимидазолонов подобно ароматическим аминам [1, 2], не затрагивая ароматическое кольцо.

В ИК спектрах полученных соединений **1a-d** отсутствуют полосы поглощения NH-групп. Отмечены полосы поглощения «Амид I», соответствующие колебаниям карбонильной группы лактамного фрагмента при 1685–1688 см⁻¹, в области 1642–1644 см⁻¹ наблюдается полоса поглощения, которая обусловлена колебаниями карбонильной группы ацильного фрагмента, связанного с третичным азотом (**1a,b**), а в области 1716–1718 см⁻¹ наблюдается резонансное поглощение, связанное с валентными колебаниями карбонильной группы трифторацетильного фрагмента (**1c,d**).

В ЯМР ¹H спектрах для соединений **1a,b** отмечены синглеты протонов ацильного фрагмента при 2.15–2.22 м.д., а также исчезновение сигнала протона вторичной аминогруппы по сравнению со спектрами исходных соединений [11] для всех синтезированных соединений **1a-d**. Кроме того, в спектрах имеются мультиплетные сигналы протонов метиленовых звеньев пирролидонового фрагмента молекулы при 2.04–2.77 и 3.40–3.79 м.д., в области 7.06–8.26 находятся сигналы протонов ароматических колец. Для соединений **1b,d** отмечен синглет метильной группы *n*-толильного заместителя в положении 3а при 2.27–2.31 м.д.

В спектрах ЯМР ¹³C соединений **1a,b** отмечены характеристические сигналы атомов углерода метильной группы ацильного фрагмента при 24.0–24.2 м.д. для соединений атома углерода карбонильной группы ацильного фрагмента при 169.7–170.1 м.д. Для соединений **1c,d** в связи с наличием в структуре сильной электроотрицательной группы сигналы атомов углерода в составе трифторметильного фрагмента значительно смещены в слабое поле и проявляются в спектрах в виде квадруплетов при 116.5–116.6 м.д. с КССВ



J_{C-F} 290 Гц. При 155.0–162.1 м.д. с КССВ J_{C-F} 37 Гц отмечены квадруплеты карбонильных атомов углерода трифторацетильных заместителей. Для всех соединений **1a-d** в спектрах ЯМР ^{13}C имеются слабоинтенсивные сигналы четвертичных атомов углерода в диапазоне 88.4–92.1 м.д. Атомы углерода карбонильной группы пирролонового фрагмента резонируют при 171.2–173.6 м.д. Для соединений **1b,d** отмечены сигналы атомов углерода метильной группы *n*-толильного заместителя в положении 3а при 20.5–21.7 м.д.

Таким образом, показано, что в случае модификации конденсированных гетероциклических систем, содержащих вторичную аминогруппу, с помощью реакций (трифтор)ацилирования более предпочтителен, по сравнению с классическим методом, способ синтеза с применением техники герметичных сосудов, что позволяет проводить реакцию за более короткое время, с меньшим расходом растворителей и с более высоким выходом, что выгодно отмечает предложенный метод.

Список литературы

- Lopez S. E., Perez Y., Retrepo J., Salazar J., Charris J. Trifluoroacetylation of arylamines using poly-phosphoric acid trimethylsilylester (PPSE) // J. Fluor. Chem. 2007. Vol. 128. P. 566–569. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2007.03.003
- Kim J.-G., Jang D. O. Trifluoroacetylation of amines with trifluoroacetic acid in the presence of trichloroacetonitrile and triphenylphosphine // Tetrahedron Letters. 2010. Vol. 51. P. 683–685. DOI: 10.1016/j.tetlet.2009.11.105
- Mphahlele M. J., Maluleka M. M. Trifluoroacetylation of indole-chalcones derived from the 2-amino-3-(arylethynyl)-5-bromo-iodochalcones // J. Fluor. Chem. 2016. Vol. 189. P. 88–95.
- Bassetto M., Ferla S., Pertusati F. Polyfluorinated groups in medicinal chemistry // Future Med. Chem. 2015. Vol. 7. P. 527–546. DOI: 10.4155/FMC.15.5
- Osyannin V. A., Popova Y. V., Sakhnenko D. V., Klimochkin Yu. N. The rearrangement of trifluoroacetylchromenes to trifluoromethylchromenols // Chem. Heterocycl. Comp. 2016. Vol. 52. P. 559–563. DOI: /10.1007/s10593-016-1931-6
- Usachev B. I. 1-/2-/3-Fluoroalkyl-Substituted Indoles, Promising Medicinally and Biologically Beneficial Compounds: Synthetic Routes, Significance and Potential Applications // J. Fluor. Chem. 2016. Vol. 185. P. 118–167. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2016.02.006
- Cheetham C. A., Massey R. S., Pira S. L. Atroposelective formation of dibenz[*c,e*]azepines via intramolecular direct arylation with centre-axis chirality transfer // Org. Biomol. Chem. 2011. Vol. 9. P. 1831–1838. DOI: 10.1039/C0OB00889C
- Ding F., Cai S., William R., Liu X. Pathways leading to 3-amino- and 3-nitro-2,3-dideoxy sugars: strategies and synthesis // RSC Adv. 2013. Vol. 3. P. 13594–13621. DOI: 10.1039/C3RA40595H.
- Quereshi S., Ahmad E., Pant K. K., Dutta S. Insights into the metal salt catalyzed ethyl levulinate synthesis from biorenewable feedstocks // Catalysis Today. 2017. Vol. 291. P. 187–194. DOI: 10.1016/j.cattod.2016.12.019
- Grinev V. S., Babkina N. V., Yegorova A. Yu. (E)-7-[(4-Nitrophenyl)diazanyl]-3a-(*p*-tolyl)-2,3,3a,4-tetrahydro-1H-benzo[*d*]pyrrolo[1,2-*a*]imidazol-1-one 0.58-dimethyl sulfoxide 0.42-acetonitrile solvate: crystal structure, Hirshfeld analysis and DFT estimation of the energy of intermolecular interactions // Acta Cryst. Sect. E. 2017. Vol. 73. P. 1590–1594. DOI: 10.1107/S2056989017013937
- Grinev V. S., Amal'chieva O. A., Yegorova A. Yu., Lyubun' E. V. Reaction of 4-Oxocarboxylic Acids and 5-Substituted 3H-Furan-2-ones with 1,2-Binucleophiles of Aromatic and Alicyclic Series // Russian Journal of Organic Chemistry. 2010. Vol. 46, № 9. P. 1378–1382. DOI: 10.1134/S1070428010090198.

Образец для цитирования:

Гринёв В. С., Барабанов Н. А., Линькова Е. И., Егорова А. Ю. Реакции (трифтор)ацилирования бензопирролоимидазолонов в различных условиях // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 252–256. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-252-256>

Trifluoroacetylation of Benzopirrolimidazolons under Various Conditions

V. S. Grinev, N. A. Barabanov,
E. I. Linkova, A. Yu. Yegorova

Vyacheslav S. Grinev, <https://orcid.org/0000-0002-0627-6804>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia; Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Russian Academy of Sciences, 13 Ave. Entuziastov, Saratov 410049, Russia, grinev@ibppm.ru

Nikita A. Barabanov, <https://orcid.org/0000-0002-3264-114X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, nek_bar@hotmail.com

Elena I. Linkova, <https://orcid.org/0000-0001-9925-2897>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, alenaji2006@rambler.ru

Alevtina Yu. Yegorova, <https://orcid.org/0000-0002-4368-0021>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, yegorovaay@gmail.com



The introduction of the (trifluoro)acetyl moiety into different heterocycles allows one to vary their physicochemical properties, change the nature and magnitude of biological activity, and also to carry out further chemical transformations. At the same time, modern methods of organic chemistry are aimed, inter alia, at increasing the efficiency of known and widely used chemical reactions and the possibility of directing along other paths when conducting syntheses under conditions, which are different from the classical ones. The reactions (trifluoro)acetylation of 3a-aryl-substituted benzopyrroloimidazolones in this study were carried out under classical conditions, when heated in an appropriate acylating agent, as well as in a Monowave 50 reactor in a sealed vessel. The (trifluoro)acylation of benzopyrroloimidazolones at elevated pressure and temperature in the absence of a catalyst is directed to the secondary amino group, as is in the case when using classical thermal heating conditions. The structures of the obtained compounds were proved using the set of IR, ^1H , ^{13}C NMR spectroscopy data. It has been noted that the method of synthesis using the technique of sealed vessels is more preferable, since it allows one to obtain products in shorter time, with less solvent consumption and with higher yield.

Keywords: trifluoroacylation, acylation, benzopyrroloimidazolones, secondary amino group, classical conditions of heating, heating in a sealed vessel.

References

1. Lopez S. E., Perez Y., Retrepo J., Salazar J., Charis J. Trifluoroacetylation of arylamines using polyphosphoric acid trimethylsilylester (PPSE). *J. Fluor. Chem.*, 2007, vol. 128, pp. 566–569. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2007.03.003
2. Kim J.-G., Jang D. O. Trifluoroacetylation of amines with trifluoroacetic acid in the presence of trichloroacetonitrile and triphenylphosphine. *Tetrahedron Letters*, 2010, vol. 51, pp. 683–685. DOI: 10.1016/j.tetlet.2009.11.105
3. Mphahlele M. J., Maluleka M. M. Trifluoroacetylation of indole-chalcones derived from the 2-amino-3-(arylethynyl)-5-bromo-iodochalcones. *J. Fluor. Chem.*, 2016, vol. 189, pp. 88–95.
4. Bassetto M., Ferla S., Pertusati F. Polyfluorinated groups in medicinal chemistry. *Future Med. Chem.*, 2015, vol. 7, pp. 527–546. DOI: 10.4155/FMC.15.5
5. Osyanin V. A., Popova Y. V., Sakhnenko D. V., Klimochkin Yu. N. The rearrangement of trifluoroacetylchromenes to trifluoromethylchromenols. *Chem. Heterocycl. Comp.*, 2016, vol. 52, pp. 559–563. DOI: /10.1007/s10593-016-1931-6
6. Usachev B. I. 1-/2-/3-Fluoroalkyl-Substituted Indoles, Promising Medicinally and Biologically Beneficial Compounds: Synthetic Routes, Significance and Potential Applications. *J. Fluor. Chem.*, 2016, vol. 185, pp. 118–167. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2016.02.006
7. Quereshi S., Ahmad E., Pant K. K., Dutta S. Insights into the metal salt catalyzed ethyl levulinate synthesis from biorenewable feedstocks. *Catalysis Today*, 2017, vol. 291, pp. 187–194. DOI: 10.1016/j.cattod.2016.12.019
8. Ding F., Cai S., William R., Liu X. Pathways leading to 3-amino- and 3-nitro-2,3-dideoxy sugars: strategies and synthesis. *RSC Adv.*, 2013, vol. 3, pp. 13594–13621. DOI: 10.1039/C3RA40595H
9. Quereshi S., Ahmad E., Pant K. K., Dutta S. Insights into the metal salt catalyzed ethyl levulinate synthesis from biorenewable feedstocks. *Catalysis Today*, 2017, vol. 291, pp. 187–194. DOI: 10.1016/j.cattod.2016.12.019
10. Grinev V. S., Babkina N. V., Yegorova A. Yu. (E)-7-[(4-Nitrophenyl)diazetyl]-3a-(p-tolyl)-2,3,3a,4-tetrahydro-1H-benzo[d]pyrrolo[1,2-a]imidazol-1-one 0.58-dimethyl sulfoxide 0.42-acetonitrile solvate: crystal structure, Hirshfeld analysis and DFT estimation of the energy of intermolecular interactions. *Acta Cryst. Sect. E*, 2017, vol. 73, pp. 1590–1594. DOI: 10.1107/S2056989017013937
11. Grinev V. S., Amal'chieva O. A., Egorova A. Yu., Lyubun' E. V. Reaction of 4-Oxocarboxylic Acids and 5-Substituted 3H-Furan-2-ones with 1,2-Binucleophiles of Aromatic and Alicyclic Series. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2010, vol. 46, no. 9, pp. 1378–1382. DOI: 10.1134/S1070428010090198

Cite this article as:

Grinev V. S., Barabanov N. A., Linkova E. I., Yegorova A. Yu. Trifluoroacylation of Benzopyrroloimidazolones under Various Conditions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 3, pp. 252–256 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-252-256>