

EDN: ACPCXF

УДК 547.717

Synthesis of New α -phenylacrolein Dibutoxyacetal Derivatives

Yulianna G. Borisova*,
Airat I. Musin, Gul'nara Z. Raskil'dina,
Rimma M. Sultanova and Simon S. Zlotskii
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russian Federation

Received 09.03.2024, received in revised form 06.11.2024, accepted 17.01.2025

Abstract. Reduction, dichlorocyclopropanation and ozonolysis reactions were performed for 2-phenylgem-dichlorocyclopropane obtained by alkaline alcoholism in the presence of butanol under microwave radiation of dibutoxyacetal α -phenylacrolein. The structure of synthesized molecules has been determined by NMR spectroscopy and chromatography-mass spectrometry.

Keywords: linear acetals, (2,2-dibutoxy-1-methylethyl)benzene, [2,2-dichloro-1-(dibutoxymethyl)cyclopropyl]benzene, butyl-2,2-dichloro-1-phenylcyclopropanecarboxylate, (1,2,2-tributoxy-1-methylethyl)benzene, 2,2-dibutoxyacetophenone.

Acknowledgements. The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the field of scientific activity, publication number FEUR – 2022–0007 “Petrochemical reagents, oils and materials for thermal power engineering”

Citation: Borisova Yu. G., Musin A. I., Raskil'dina G. Z., Sultanova R. M., Zlotsky S. S. Synthesis of New α -phenylacrolein Dibutoxyacetal Derivatives. J. Sib. Fed. Univ. Chem., 2025, 18(1), 26–33. EDN: ACPCXF



Синтез новых производных дибутоксиацетала α -фенилакролеина

Ю. Г. Борисова, А. И. Мусин,
Г. З. Раскильдина, Р. М. Султанова, С. С. Злотский
*Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Российская Федерация, Уфа*

Аннотация. Для полученной щелочным алкоголизом 2-фенил-гем-дихлорциклопропана в присутствии бутанола в условиях микроволнового излучения дибутоксиацетала α -фенилакролеина проведены реакции восстановления, дихлорциклопропанирования и озонлиза. Методами ЯМР-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии установлено строение синтезированных молекул.

Ключевые слова: линейные ацетали, (2,2-дибутоксид-1-метилэтил)бензен, [2,2-дихлор-1-(дибутоксиметил)циклопропил]бензен, бутил-2,2-дихлор-1-фенилциклопропанкарбоксилат, (1,2,2-трибутоксид-1-метилэтил)бензен, 2,2-дибутоксид-ацетофенон.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности, номер для публикаций FEUR – 2022–0007 «Нефтехимические реагенты, масла и материалы для теплоэнергетики».

Цитирование: Борисова Ю. Г., Мусин А. И., Раскильдина Г. З., Султанова Р. М., Злотский С. С. Синтез новых производных дибутоксиацетала α -фенилакролеина. Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия, 2025, 18(1). С. 26–33. EDN: ACPXCF

Введение

Ацетали непредельных альдегидов широко используются в органическом синтезе и применяются в производстве малотоннажных продуктов и биологически активных веществ [1, 2].

Описано множество различных линейных и циклических ацеталей акролеина, кротонового и коричного альдегидов, обладающих высокой биологической активностью и используемых в медицинской химии и фармакологии [3, 4]. В этой связи получение и изучение свойств соединений аналогичного строения представляется важной и актуальной задачей.

Ранее на кафедре общей, аналитической и прикладной химии Уфимского государственного нефтяного технического университета было показано [5, 6], что ацетали α -фенилакролеина могут быть получены с высоким выходом щелочным алкоголизом 2-фенил-гем-дихлорциклопропана (1). Эти соединения могут представлять значительный интерес как полупродукты тонкого органического синтеза, поэтому считается важным и интересным изучить превращения дибутоксиацетала α -фенилакролеина, синтезированного на основе 2-фенил-гем-дихлорциклопропана, с целью получения новых, ранее неописанных соединений ряда α -фенилакролеина.

В данной работе мы рассмотрели некоторые трансформации дибутоксиацетала α -фенилакролеина (**2**), протекающие как по двойной связи, так и по ацетальной группе.

Результаты и их обсуждение

Впервые нами для процесса щелочного гидролиза 2-фенил-*гем*-дихлорциклопропана **1** бутанолом предложено использовать микроволновую активацию (МВИ) с целью синтеза ацетала **2**. При этом экспериментально установлено, что МВИ позволяет снизить температуру и сократить время расщепления карбоцикла **1** бутанолом, при этом конверсия **1** достигает 90 %, за 3 ч при селективности образования ацетала **2** 98 % (рис. 1).

По использованной ранее нами методике восстановления алкенил-*гем*-дихлорциклопропанов [7] мы осуществили гетерогенно-каталитическое гидрирование дибутоксиацетала α -фенилакролеина **2** в токе водорода в присутствии промышленного катализатора Pd/C в соответствующий дибутилацеталь 2-фенил-пропионового альдегида **3** с выходом 90 %. Дихлоркарбенированием дибутоксиацетала α -фенилакролеина **2** по методу Макоши с использованием хлороформа и щелочи [8] с количественным выходом получен 2,2-дизамещенный-*гем*-дихлорциклопропан **4**. Озонолиз последнего при температуре 40–50 °С по известной методике [9] позволил получить с выходом 93 % бутиловый эфир циклопропанкарбоновой кислоты **5**. Присоединением бутанола к олефину **2** в присутствии цеолита НУ с выходом 50 % и селективностью 60 % был синтезирован (1,2,2-трибутокси-1-метилэтил)бензен **6**. Низкотемпературный озонолиз (–50 °С) дибутоксиацетала α -фенилакролеина **2** протекает по двойной связи и не затрагивает ацетальный фрагмент, при

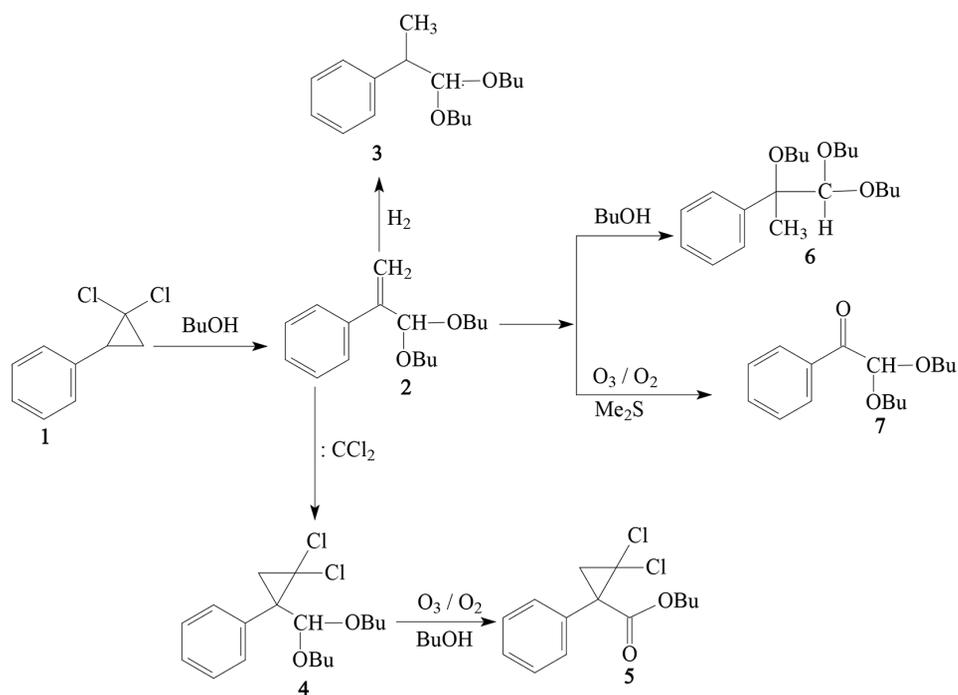


Рис. 1. Схема превращений дибутоксиацетала α -фенилакролеина

Fig. 1. Scheme of transformations of α -phenylacrolein dibutoxyacetal

Таблица 1. Условия синтеза и выход ацеталей 2–7

Table 1. Synthesis conditions and yield of acetals 2–7

Исходный реагент	T, °C	Время реакции, ч	Условия реакции	Продукт реакции	Выход продукта реакции, %
1	60	3	NaOH, МВИ (700 Вт)	2	98
2	25	1	H ₂ , Pd/C	3	90
	10	2	CHCl ₃ , NaOH, ТЭБАХ (1 % масс.)	4	98
	80	2.5	BuOH, НУ (10 % масс.)	6	50
	-50	3	O ₃ , Me ₂ S	7	81
4	40–50 °C	2	O ₃ , BuOH	5	93

этом основным продуктом реакции с выходом 81 % является 2,2-дибутоксид-1-фенилэтанон **7**. Ранее эта методика использовалась нами для окисления 4-метилена-1,3-диоксоланов до соответствующих производных оксиуксусной кислоты [10]. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Строение синтезированных реагентов **2–7** было установлено методами ЯМР-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии.

В спектрах ЯМР ¹H соединений **2–7** сигналы протонов фенильного фрагмента проявляются в виде мультиплета в слабой области при δ 7.23–7.55 м.д. Протон в метиновой группе ацетального фрагмента веществ **2**, **4**, **6** и **7** проявляется синглетом в области δ 3.78–5.31 м.д., тогда как аналогичный протон для дибутилацетали-2-фенил-пропионового альдегида **3** регистрируется дублетом при δ 4.49 м.д. с КССВ = 6.6 Гц. Отметим, что сигналы неэквивалентных протонов в метиленовой группе циклопропанового фрагмента соединений **4** и **5** проявляются в сильной области при δ 1.90–2.72 м.д. с КССВ = 7.5 Гц в виде двух дублетов одинаковой интенсивности.

В спектрах ЯМР ¹³C соединений **2–7** сигналы углеродов фенильного фрагмента проявляются в области при δ 126.18–143.41 м.д. Углерод метиновой группы ацетального фрагмента веществ **2–4**, **6** и **7** проявляется в области δ 101.10–115.76 м.д. Сигнал углерода при концевой двойной связи для [1-(дибутоксиметил)винил]бензена **2** проявляется при δ 145.02 м.д. Для бутил-2,2-дихлор-1-фенилциклопропанкарбоксилата **5** сигнал углерода карбоксильной С=О группы регистрируется при δ 167.65 м.д. Отметим, что сигнал метиленового углерода циклопропанового фрагмента соединений **4** и **5** проявляется в сильной области при δ 30.56–31.87 м.д.

Заключение

Таким образом, получены из дибутоксидоацетала α-фенилакролена с 50–98 % выходами новые линейные и карбоциклические полифункциональные соединения, а именно: (2,2-дибутоксид-1-метилэтил)бензен, [2,2-дихлоро-1-(дибутоксиметил)циклопропил]бензен, бутил-2,2-дихлор-1-фенилциклопропанкарбоксилат, (1,2,2-трибутоксид-1-метилэтил)бензен, 2,2-дибутоксидоацетофенон, строение которых доказано методами ядерно-магнитного резонанса и хромато-масс-спектрометрии.

Экспериментальная часть

В работе использованы: *n*-бутиловый спирт и хлороформ (ЧДА, производство «Вектон»), цеолит HY¹, катализатор гидрирования Pd/C [7], (CAS номер – 7440–05–3, ТУ 2172–013–94509069–200), гранулированный, содержание палладия 5 %, перед использованием измельчали в ступке, просеивали и хранили в эксикаторе. Для гидрирования использовалась проточная каталитическая установка «Катакон», состоящая из металлического реактора с нагревательной рубашкой, бюреткой для подачи сырья, автоматического насоса и блока управления. Рабочие параметры установки: объем реакционной зоны 15 см³, диапазон температур 50–600 °С, давление до 100 атм. 2-Фенил-гем-дихлорциклопропан был получен по методике [8].

Анализ реакционных масс и запись масс-спектров соединений осуществляли на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000М» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия) с базой NIST 2012 (National Institute of Standards and Technology, США). Условия анализа: капиллярная кварцевая колонка длиной 30 м, длительность анализа – 20 мин, температура источника ионов – 260 °С, температура переходной линии – 300 °С, диапазон сканирования – 30–300 Да, давление – 37–43 мТорр, газ-носитель – гелий, скорость нагрева – 20 град/мин). Для получения масс-спектров соединений использовали метод ионизации электронным ударом. Спектры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ¹H и ¹³C регистрировали на спектрометре «Bruker AM-500» (Bruker Corporation, США) с рабочими частотами 500 и 125 МГц соответственно; растворитель – CDCl₃. Химические сдвиги приведены по шкале δ (м.д.) относительно тетраметилсилана как внутреннего стандарта. Константы спин-спинового взаимодействия (*J*) приведены в Гц. В качестве источника микроволнового излучения использовали микроволновую систему синтеза «Sineo U Wave-2000» мощностью 1000 Вт и оснащенную иммерсионной ультразвуковой установкой с регулируемым диапазоном мощности ультразвука: 0–800 Вт, частотой 28 кГц. Цифровая система магнитного перемешивания со скоростью вращения от 30 до 1600 об/мин. Инфракрасный диапазон измерения температуры от 0 до 900 °С с отклонением ± 1 °С, диапазон температур термодары Pt 100 от 0 до 300 °С с отклонением ± 1 °С.

2-фенил-гем-дихлорциклопропан (1) был получен дихлоркарбенированием стирола в условиях реакции Макоши (50 % р-р NaOH, хлороформ, катализатор ТЭБАХ).

[1-(Дибутоксиметил)винил]бензен (2). К раствору 10 г (0.04 моль) 2-фенил-1,1-дихлорциклопропана в спирте (300 мл) добавляли 2.24 г (0.04 моль) NaOH и кипятили 3 ч в условиях микроволнового излучения (700 Вт). По окончании реакции (до полной конверсии исходного циклопропана) реакционную массу охлаждали, добавляли 10 мл бензола, промывали насыщенным раствором соли (Na₂SO₄), осушали хлоридом кальция, отфильтровывали и упаривали. Целевой ацеталь **2** выделяли с помощью вакуумной перегонки. Выход 98 %. Ткип. = 126–127 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (*J*, Гц): 0.95 т. (6H, 2 CH₃, *J*=7.3 Гц), 1.40 кв (4H, 2CH₂, *J*=7.53 Гц), 1.62 кв (4H, 2CH₂, *J*=6.90 Гц), 3.52 кв (2H, 2 CH_a, *J*=6.5 Гц), 3.63 кв (2H, CH_b, *J*=6.5 Гц), 5.31 с (1H, CH), 5.60 (д., CH₂, *J*=3.96 Гц), 7.31–7.39 м (4H, 4 CH), 7.59 д (1H, CH, *J*=7.73 Гц). ЯМР ¹³C, δ_C, м.д.: 13.87 (2 CH₃), 19.45 (2 CH₂), 31.83 (2 CH₂), 65.58 (2 CH₂), 101.95 (CH), 115.59 (CH₂), 126.85–138.58 (4 CH), 139.03 (C), 145.02 (C). Масс-спектр *m/e*, (I_{отн.}, %): 262 (2), 261 (4), 189 (98), 132 (38), 104 (56), 77 (80).

¹ Авторы выражают благодарность лаборатории приготовления катализаторов ИНК РАН г. Уфы за предоставленные в рамках научно-технического сотрудничества цеолиты

(2,2-Дибутокси-1-метилэтил)бензен (3). В проточный реактор объемом 15 см³ загружали активированный катализатор Pd/C. Далее подавали 15 мл олефина **2** (0.01 моль), водород со скоростью 0.460 мл/мин и устанавливали давление на уровне 8 кг/см. Полученный катализат отфильтровывали и упаривали. Выход 90 %. Ткип. = 131–132 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): 0.83 т (3H, CH₃, J=7.3 Гц), 0.95 т (3H, CH₃, J=7.2 Гц), 1.35 д (3H, CH₃, J=7.0 Гц), 1.40–1.63 м (8H, 4CH₂), 3.02 т (1H, CH, J=6,8 Гц), 3.28 кв (1H, CH_a, J=6,7 Гц), 3.45 кв (1H, CH_b, J=6.7 Гц), 3.54 кв (1H, CH_a, J=6,5 Гц), 3.71 кв (1H, CH_b, J=6.6 Гц), 4.49 д (1H, CH, J=6.6 Гц), 7.23–7.37 м (4H, 4 CH). ЯМР ¹³C, δ_C, м.д.: 13.77 (2 CH₃), 16.62 (CH₃), 19.15 (2 CH₂), 32.00 (2 CH₂), 43.78 (CH), 67.05 (2 CH₂), 101.10 (CH), 126.18–128.16 (4 CH), 143.41 (C).

[2,2-Дихлоро-1-(дибутоксиметил)циклопропил]бензен (4). Смесь 0.01 моль **2**, 30 мл хлороформа, 32 г. 50 % р-ра гидроксида натрия и 1 % по масс. ТЭБАХ перемешивали при комнатной температуре (контроль за ходом реакции по данным ГЖХ). По окончании реакции реакционную смесь охлаждали до комнатной температуры, отмывали водой, экстрагировали хлороформом, осушали хлоридом кальция и упаривали. Целевые соединения выделяли вакуумной перегонкой. Выход 98 %. Ткип. = 121–122 °С (1 мм рт. ст.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): 0.95 т (6H, 2CH₃, J=7,5 Гц), 1.31–1.68 м (8H, 4CH₂), 2.31 д (1H, CH_a, J=7.5 Гц), 2.72 д (1H, CH_b, J=7.5 Гц), 3.35–3.71 м (4H, 2CH₂), 3.78 с. (1H, CH), 7.37–7.51 м (4H, 4 CH). ЯМР ¹³C, δ_C, м.д.: 13.93 (2 CH₃), 19.28 (2 CH₂), 30.88 (2 CH₂), 31.87 (CH₂), 49.34 (C), 68.88 (2 CH₂), 106.11 (CH), 127.57–131.27 (4 CH), 135.44 (C).

Бутил-2,2-дихлор-1-фенилциклопропанкарбоксилат (5). Через раствор 1.00 г (2.89 ммоль) [2,2-дихлоро-1-(дибутоксиметил)циклопропил]бензена **1** в 70 мл BuOH при –50 °С в течение 5 ч барботировали озono-кислородную смесь. Реакционную смесь продували аргоном без дополнительного охлаждения (от –50 °С до –45 °С), в течение 20 мин доводили до комнатной температуры, перемешивали при нагреве (40–50 °С) до исчезновения пероксидов (контроль – йод-крахмальная проба, 72 ч), упаривали BuOH. R_f 0.62 (гексан–метил-трет-бутиловый эфир, 2:1). ИК-спектр (KBr), ν, см⁻¹: 1756 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): 0.88 т (3H, CH₃, J=6.7 Гц), 1.38–1.46 м (2H, CH₂), 1.60–1.65 м (2H, CH₂), 1.90 д (1H, CH_a, J=7.5 Гц), 2.09 д (1H, CH_b, J=7.5 Гц), 4.12 кв (1H, CH_a, J=5.8 Гц), 4.14 кв (1H, CH_b, J=5.9 Гц), 7.31–7.55 м (4H, 4 CH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м.д.: 13.67 (CH₃), 19.13 (CH₂), 30.56 (CH₂), 34.17 (CH₂), 43.48 (C), 67.32(CH₂), 122.88–132.03 (4 CH), 132.73 (C), 167.65 (C=O). Масс-спектр, m/z (I_{отн.}, %): [M + H]⁺ 288 (100). C₁₄H₁₆Cl₂O₂.

(1,2,2-трибутокси-1-метилэтил)бензен (6). В четырехгорлую круглодонную колбу, снабженную механической мешалкой, термометром и обратным холодильником, загружали 2 г (20 % на реакционную смесь) цеолита HY, 7.4 г (0.1 моль) бутанола и 2.6 г (0.01 моль) олефина **2**. Реакционную смесь при 70 °С в течении 2.5 часов интенсивно перемешивали. Затем катализатор отфильтровывали и реакционную смесь экстрагировали хлористым метиленом, экстракт сушили свежепрокаленным CaCl₂. Растворитель упаривали, остаток перегоняли в вакууме в атмосфере азота. Выход 50 %. Ткип. = 126–127 °С (2 мм рт. ст.). Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д. (J, Гц): 1.11 т (3H, CH₃, J=7.0 Гц), 1.23 т (6H, 2CH₃, J=7.0 Гц), 1.28 с (3H, CH₃), 2.03–2.88 м (12H, 6CH₂), 3.38 дд (2H, CH₂, J=7.3; 12.0 Гц), 3.51 кв (2H, CH_a, J=6.8 Гц), 3.88 кв (2H, CH_b, J=7.0 Гц), 4.51 с (1H, CH), 7.23–7.52 м (4H, 4 CH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м.д.: 13.88 (2CH₃), 15.25 (CH₃), 19.62 (2CH₂), 20.36 (2CH₂), 24.22 (CH₃), 32.78 (2CH₂), 32.94 (CH₂), 66.11(CH₂), 71.66(CH₂), 84.41(C), 115.76 (CH),

127.07–133.97 (4 CH), 138.41 (C). Масс-спектр m/e , ($I_{\text{отн.}}$, %): 336 (1), 264 (2), 236 (60), 144 (22), 105 (100), 77 (30).

2,2-Дибутоксиацетофенон (7). Через охлажденный раствор, содержащий 0.95 ммоль [1-(дибутоксиметил)винил]бензен **2** в 20 мл хлористого метилена, пропускали озон до появления голубого окрашивания. По окончании реакции реакцию смесь продували аргоном, добавляли (0 °C) 9.5 ммоль диметилсульфида и перемешивали при комнатной температуре до исчезновения пероксидов (контроль – йод-крахмальная проба). Затем растворитель отгоняли, остаток растворяли в хлороформе, промывали насыщенным раствором NaCl, сушили Na_2SO_4 и упаривали. Выход 81 %. R_f 0.52 (гексан-метил-трет-бутиловый эфир, 5:1). ИК-спектр (KBr), ν , см⁻¹: 1689 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д. (J , Гц): 0.82–0.91 м (6H, 2 CH₃), 1.31–1.39 м (4H, 2 CH₂), 1.55–1.62 м (4H, 2CH₂), 3.52–3.59 м (4H, 2CH₂), 5.20 с (1H, CH), 7.41–8.19 м (4H, 4 CH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м.д.: 13.74 (2 CH₂), 19.19 (2 CH₂), 31.67 (2 CH₂), 67.72 (2 CH₂), 102.94 (CH), 128.26–133.39 (4 CH) 133.71 (C), 191.14 (C=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн.}}$, %): $[\text{M}+\text{H}]^+$ 265 (100). $\text{C}_{16}\text{H}_{24}\text{O}_3$. Вычислено: 72.69 % (C), 9.15 % (H). Найдено: 72.43 % (C), 9.26 % (H).

Список литературы / References

[1] Thompson C. D., Kinter M. T., Macdonald T. L. Synthesis and in vitro reactivity of 3-carbamoyl-2-phenylpropionaldehyde and 2-phenylpropenal: putative reactive metabolites of felbamate. *Chemical Research in Toxicology*, 1996, 9(8), 1225–1229. DOI:10.1021/tx9601566.

[2] Bailey W.F., Reed D.P., Clark D.R., Kapur G.N. Grignard Reactions of 4-Substituted-2-keto-1,3-dioxanes: Highly diastereoselective additions controlled by a remote Alkyl Group. *Organic Letters*, 2001, 3, 12. P. 1865–1868. DOI:10.1021/ol015914k.

[3] Myasoedova Yu.V., Sakhabutdinova G.N., Belyaeva E.R. New method for the synthesis of phenylglyoxal derivatives. *Dokl Chem.*, 2022, 504, 74–78. DOI:10.1134/S 0012500822600109.

[4] Султанова Р.М., Борисова Ю.Г., Хуснутдинова Н.С., Раскильдина Г.З., Злотский С.С. 1,3-Диоксацикланы: синтез на основе продуктов нефтехимии, химические превращения и применение. *Известия Академии наук. Серия химическая*, 2023, 72(10), 2297–2318.

[5] Raskil'dina G.Z., Sakhabutdinova G.N., Musin A.I., Zlotskii S.S. Alkaline alcoholysis of gem-dichlorocyclopropane derivatives. *Russian Journal of General Chemistry*, 2021, 91, 596–601. DOI:10.1134/S 1070363221040034.

[6] Sakhabutdinova G.N., Raskil'dina G.Z., Chanyshev R.R., Zlotskii S.S. Synthesis of gem-dichlorocyclopropane derivatives containing 1,3-dioxolane fragments. *Reviews and Advances in Chemistry*, 2022, 12, 4, 255–258.

[7] Мусин А.И., Борисова Ю.Г., Раскильдина Г.З., Рабаев Р.У., Даминев Р.Р., Злотский С.С. Синтез и реакции алкенил-гем-дихлорциклопропанов на основе пиперилена. *Тонкие химические технологии*, 2020, 15(5), 16–26. DOI:10.32362/2410–6593–2020–15–5–16–25 [Musin A.I., Borisova Yu.G., Raskil'dina G.Z., Rabaev R.U., Daminev R.R., Zlotskii S.S. Synthesis and reactions of alkenyl-gem-dichlorocyclopropanes obtained from piperylene. *Fine Chemical Technologies*, 2020, 15(5), 16–25. DOI:10.32362/2410–6593–2020–15–5–16–25].

[8] Ding M.F., Lee C.C., Lin L.C., Lin S.T. Spectroscopic analysis of the products of the cycloaddition reaction of 1-aryl-2-chlorocyclopropenes and cyclopentadiene. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2013, 61(2), 285–289. DOI:10.1002/jccs.201300216

[9] Myasoedova Yu.V., Nazarov I.S., Ishmuratov G. Yu. Transformations of peroxide products of alkene ozonolysis. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2019, 55, 47–73. DOI: 10.1134/S 107042801901007X.

[10] Раскильдина Г.З., Борисова Ю.Г., Беляева Э.Р., Мусин А.И., Султанова Р.М., Злотский С.С. Синтез новых полифункциональных циклических кеталей на основе замещенных 4-метилен-1,3-диоксоланов. *Доклады академии наук*, 2023, 513(12), 82–85. DOI:10.31857/s2686953523600198 [Raskil'dina G.Z., Borisova Yu.G., Belyaeva E.R., Musin A.I., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. Synthesis of new polyfunctional cyclic ketals based on substituted 4-methylene-1,3-dioxolanes. *Dokl Chem.*, 2023, 513(12), 82–85. DOI:10.31857/s2686953523600198].