

В. А. Егоров (к.х.н., с.н.с.)¹, Л. С. Хасанова (к.х.н., н.с.)¹,
Э. Р. Исхакова (магистрант)², Ф. А. Гималова (д.х.н., проф.)¹

НОВЫЕ КРОСС-СОПРЯЖЕННЫЕ ЭКЗОМЕТИЛИДЕНХЛОРЦИКЛОПЕНТЕН-1,3-ДИОНЫ

¹ Уфимский институт химии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
лаборатория синтеза низкомолекулярных биорегуляторов
450054, г. Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: fangim@anrb.ru

² Уфимский университет науки и технологий, кафедра технической химии и материаловедения,
450000, г. Уфа, ул. Мингажева, 100; e-mail: eliza.iskhakova@bk.ru

V. A. Egorov¹, L. S. Khasanova¹, E. R. Iskhakova², F. A. Gimalova¹

NEW CROSS-CONJUGATED EXOMETHYLIDENECYCLOPENTENE-1,3-DIONES

¹ Ufa Institute of Chemistry of the Ufa Federal Research Centre of the RAS
71, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia; e-mail: fangim@anrb.ru
Ufa University of Science and Technology

100, Mingazheva Str., 450000, Ufa, Russia; e-mail: eliza.iskhakova@bk.ru

Альдольно-кетоновой конденсацией 5-фенил-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-диона, синтезированного взаимодействием 6,7-дихлор-1,4-диоксаспиро[4.4]нон-6-ен-8-она с фенилборной кислотой в условиях реакции Сузуки-Миауры и последующим гидролизом защитной группы концентрированной серной кислотой, с ароматическими альдегидами (4-гидрокси-3,5-ди-*tert*-бутил- и *p*-диметиламинобензальдегиды, салициловый альдегид) получены новые синтетически и фармакологически перспективные кросс-сопряженные 2-арилиден-5-фенилциклопентен-1,3-дионы.

Ключевые слова: альдольно-кетоновая конденсация; 2-арилметилен-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-дионы; 4-гидрокси-3,5-ди-*tert*-бутил- и *p*-диметиламинобензальдегиды; метил (трифенилфосфоранилиден)ацетат-5-фенил-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-дион; реакция Виттига; салициловый альдегид; синтез.

**Работа выполнена по теме
№125020601627-6 госзадания УФИХ УФИЦ
РАН**

Функционализированные 2-экзо-метилен-циклопент-4-еноны и циклопент-1,3-дионы природного и синтетического происхождения (циклопентеноновые простагландины, корусканоны, саркомицин, стигмахоны, и др.) обладают широким спектром противоопухолевой¹⁻⁴ и противогрибковой^{5,6} биологической активности. Кроме того, 2-арил(гетарил)метиленовые производ-

New synthetically and pharmacologically promising cross-conjugated 2-aryliden-5-phenylcyclopentene-1,3-diones were obtained by aldol-crotonic condensation of 5-phenyl-4-chlorocyclopent-4-ene-1,3-dione, synthesized by the interaction of 6,7-dichloro-1,4-dioxaspiro[4.4]non-6-en-8-one with phenylboronic acid under Suzuki-Miaura reaction conditions and subsequent hydrolysis with concentrated sulfuric acid, with aromatic aldehydes (4-hydroxy-3,5-di-*tert*-butyl- and *p*-dimethylaminobenzaldehydes, salicylic aldehyde).

Key words: aldol-crotonic condensation; 2-aryl-methylidene-4-chlorocyclopent-4-ene-1,3-diones; 4-hydroxy-3,5-di-*tert*-butyl- and *p*-dimethylaminobenzaldehydes; methyl (triphenylphosphoranylidene)-acetate; 5-phenyl-4-chlorocyclopent-4-ene-1,3-dione; salicylaldehyde; synthesis; Wittig reaction

**The work was completed on topic
no.125020601627-6 of the state assignment of the
Ufa Federal Research Center of the RAS.**

ные хлорциклопентенонов общей формулы 4, синтезированные нами ранее, показали высокую цитотоксическую активность в отношении ряда опухолевых клеток (схема 1)⁷.

Данная работа посвящена синтезу новых кросс-сопряженных циклопентенонов на основе 5-фенил-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-диона 2, полученного по реакции Сузуки⁷ из диоксоланового производного 1 с последующим гидролизом диоксолановой защитной группы⁸.

Дата поступления 20.02.24

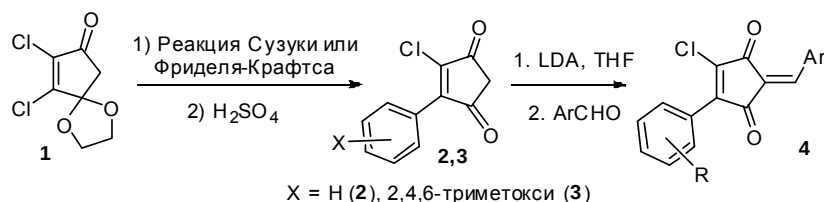


Схема 1

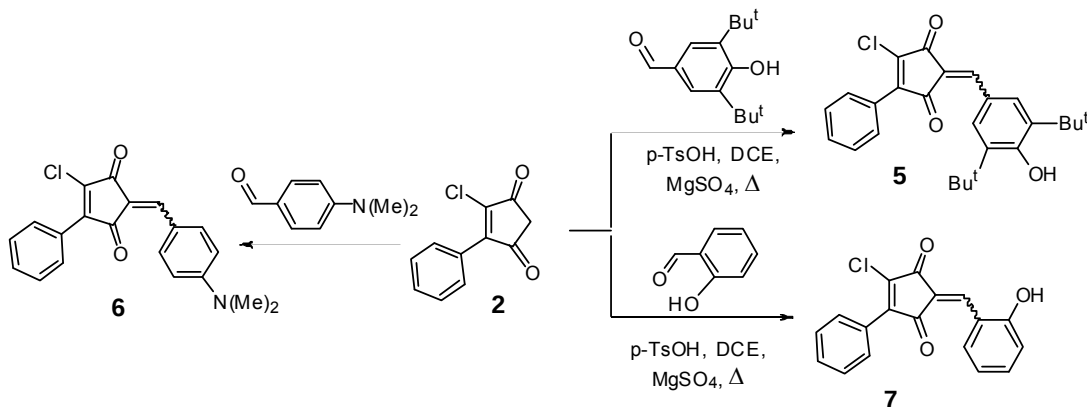


Схема 2

На этом этапе изучены реакции альдольно-кетоновой конденсации 5-фенилхлорциклопентен-1,3-диона 2 с замещенными бензальдегидами, в результате которых после хроматографической очистки продуктов были получены новые 2-арилиденпроизводные 5–7 в виде смеси *E,Z*-изомеров (схема 2), соотношение которых определено по интегральной интенсивности протонов =CH– группы в спектрах ПМР. 3,5-Ди-*трет*-бутил-4-гидроксибензальдегид был синтезирован нами из крупнотоннажного продукта ионола⁹.

С целью функционализации по кетогруппе соединение 8, полученное ранее из диона 2 в виде смеси *Z,E*-изомеров конденсацией с фурфуролом⁷, было введено в реакцию Виттига с активированным фосфораном $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CHCO}_2\text{Me}$ с выходом к кросс-сопряженному производному 9. Stereoхимия положения новой *экзо*-метиленовой двойной связи у C-1' не уточнялась. Способность C=O группы в хлорциклопентеноновых производных реагировать с такими фосфоранами была показана в наших ранних работах¹⁰. При этом более реакционноспособной является кетогруппа в положении C-1, что также было продемонстрировано в реакции соединения 8 с метилбромацетатом по Реформатскому (схема 3)¹¹.

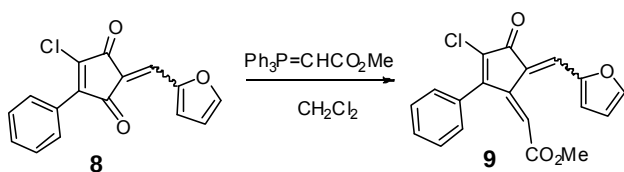


Схема 3

Таким образом, на основе 5-арил-2-хлорциклопентен-2-ен-1,3-дионов синтезированы новые фармакологически перспективные экзоалкилденциклопентеноны.

Экспериментальная часть

ИК спектры получены на спектрофотометре Shimadzu IR Prestige-21 в тонком слое или вазелиновом масле. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на спектрометрах Bruker Avance-500 (Германия, 500 и 125 МГц соответственно) и QOne400 (Slot15) (Китай, 400 и 100 МГц соответственно), внутренний стандарт – ТМС. Масс-спектры химической ионизации были получены на ВЭЖХ масс-спектрометре LCMS-2010EV (Shimadzu, Япония) (шприцевой ввод, раствор образца в хлороформе/ацетонитриле при расходе 0.1 мл/мин, элюент – ацетонитрил/вода (95/5) в режиме регистрации положительных и отрицательных ионов при потенциале игольчатого ионизирующего электрода 4.5 кВ). Элементный анализ выполнен на CHNS-анализаторе «Euro-EA 3100» (Италия). Ход реакции контролировали методом ТСХ на пластинках Сорбфил (Россия) с обнаружением веществ с помощью щелочного раствора перманганата калия. Продукты синтеза выделяли методом колоночной хроматографии на силикагеле (30–60 г адсорбента на 1 г вещества), в качестве элюентов использовали свежеперегнанные растворители.

2(Z,E)-(4-Гидрокси-3,5-ди-*трет*-бутилбензилиден)-5-фенил-4-хлор-циклопент-4-ен-1,3-дион (5). К раствору 0.1 г (0.48 ммоль) соеди-

нения **2** в 20 мл дихлорэтана добавляли раствор 94.5 мг (0.40 ммоль) 3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидроксibenзальдегида в 5 мл дихлорэтана, 70 мг (0.40 ммоль) *p*-TsOH и молекулярные сита 4A (0.40 г), реакционную массу кипятили с обратным холодильником ~48 ч. После охлаждения до комнатной температуры массу разбавляли CH₂Cl₂, промывали насыщенным раствором NaCl (2×10 мл), органический слой сушили MgSO₄, растворитель упарили. Продукт очищали хроматографированием на колонке с силикагелем (элюент – EtOAc–петролейный эфир, 1:10→1:5), получали 85 мг (43%) соединения **5** в виде *Z,E*-изомеров в соотношении ~4:3 (по интегральной интенсивности протонов CH= фрагмента в спектре ПМР). ИК спектр, ν , см⁻¹: 2927, 2850, 1696, 1653, 1565, 1506, 1424, 1264. Масс спектр (EI), m/z (%): 367 (368,369) [M – *t*-C₄H₉]⁺ (54); 365 (366, 367) [M – H – *t*-C₄H₉][–] (100). Основной *Z*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 1.48 с (18H, CH₃), 5.88 с (1H, OH), 7.68 с (1H, =CH), 7.52-7.55 м (3H, Ph), 7.91-7.94 м (2H, Ph), 8.29 с (2H, CH_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 29.48 (CH₃), 34.85 (CMe₃), 117.31 (C²_{Ar}, C⁶_{Ar}), 125.90 (C¹_{Ar}), 128.51, 130.10, 130.86 (CH_{Ph}), 134.43 и 134.57 (C³_{Ar}, C⁵_{Ar}), 135.50 (C¹_{Ph}), 136.96 (C²), 145.06 (=CH), 145.55 (C⁴), 151.35 (C⁵), 159.63 (C⁴_{Ar}), 185.07 (C³), 188.33 (C¹). Минорный *E*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 1.46 с (18H, CH₃), 5.85 с (1H, OH), 7.71 с (1H, =CH), 7.52-7.55 м (3H, Ph), 7.91-7.94 м (2H, Ph), 8.43 с (2H, CH_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 29.69 (CH₃), 34.85 (CMe₃), 117.31 (C²_{Ar}, C⁶_{Ar}), 125.50 (C¹_{Ar}), 128.44, 130.05, 130.86 (CH_{Ph}), 134.97 (C³_{Ar}, C⁵_{Ar}), 135.50 (C¹_{Ph}), 136.64 (C²), 145.20 (=CH), 145.55 (C⁴), 151.35 (C⁵), 159.08 (C⁴_{Ar}), 185.07 (C³), 187.05 (C¹).

2(Z,E)-(4-Диметиламинобензилиден)-5-фенил-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-дион (6). Получен аналогично **5** из 0.1 г (0.48 ммоль) соединения **2** и 60 мг (0.40 ммоль) *p*-диметиламинобензальдегида. Выход 77.1 мг (47%) в виде *Z,E*-изомеров в соотношении ~4:3. ИК спектр, ν , см⁻¹: 2917, 2850, 1675, 1550, 1522, 1441, 1373, 1203, 1152, 1118, 830, 698. Масс спектр (EI), m/z (%): 338 (339, 340) [M + H]⁺ (49), 379 (380, 381) [M + H + CH₃CN]⁺ (100). C₂₀H₁₆ClNO₂. Оранжевые кристаллы, $T_{пл}$. 194-196 °C. Основной *Z*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 3.15 с (6H, NCH₃), 6.74 д (2H, *J* 9.1 Гц, H_{Ar}), 7.39 д (1H, *J* 7.5 Гц, H_{Ph}), 7.51-7.56 м (3H, Ph), 7.60 с (1H, =CH), 7.94 д.д (1H, *J* 7.9 и 1.5 Гц, H_{Ph}), 8.42 д (2H, *J* 9.6 Гц, H_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 40.09 (NCH₃), 111.42 (C³_{Ar}, C⁵_{Ar}), 121.31 (C¹_{Ar}), 128.42, 130.11, 130.24 (CH_{Ph}), 130.50 (C²_{Ar}, C⁶_{Ar}), 137.20 (C²), 137.49 (=CH), 144.09 (C⁴), 144.69 (C¹_{Ph}), 148.01 (C⁵), 153.86 (C⁴_{Ar}), 184.89

(C³), 192.05 (C¹). Минорный *E*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 3.14 с (6H, NCH₃), 6.72 д (2H, *J* 9.0 Гц, H_{Ar}), 7.38 д (1H, *J* 7.1 Гц, H_{Ph}), 7.51-7.56 м (3H, Ph), 7.64 с (1H, =CH), 7.88 д.д (1H, *J* 7.9 и 1.4 Гц, H_{Ph}), 8.46 д (2H, *J* 9.4 Гц, H_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 40.09 (NCH₃), 111.32 (C³_{Ar}, C⁵_{Ar}), 121.63 (C¹_{Ar}), 128.34, 130.09, 130.30 (Ph), 130.38 (C²_{Ar}, C⁶_{Ar}), 137.20 (C²), 137.69 (=CH), 144.14 (C⁴), 144.90 (C¹_{Ph}), 147.96 (C⁵), 153.82 (C⁴_{Ar}), 187.52 (C³), 188.59 (C¹).

2(Z,E)-(2-Гидроксibenзилиден)-5-фенил-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-дион (7). Получен аналогично **5** из 65 мг (0.30 ммоль) соединения **2** и 32 мг (0.32 ммоль) салицилового альдегида. Выход 21 мг (44%), в виде смеси *Z,E*-изомеров в соотношении ~3:1. Маслообразное вещество. ИК спектр, ν , см⁻¹: 3389, 2924, 2849, 1710, 1686, 1610, 1491, 1458, 1387, 1351, 1267, 1229, 1149, 1094, 925, 862, 759, 692. Найдено, %: C 69.91, H 3.35, Cl 11.80. C₁₈H₁₁ClO₃. Вычислено, %: C 69.58, H 3.57, Cl 11.41. Основной *Z*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 6.99 д (1H, *J* 8.2 Гц, H_{Ar}), 7.34-7.40 м (2H, Ph), 7.52-7.55 м (3H, Ph), 7.85-7.87 м (1H, H_{Ar}), 7.94-7.97 м (1H, H_{Ar}), 8.10 с (1H, =CH), 8.17 д (1H, *J* 8.1 Гц, H_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 118.40 (C³_{Ar}), 121.07 (C⁵_{Ar}), 121.14 (C¹_{Ar}), 128.56 (C⁶_{Ar}), 128.65, 129.88, 130.09 (CH_{Ph}), 131.37 (C⁴_{Ar}), 135.94 (C²), 135.85 (=CH), 140.03 (C¹_{Ph}), 146.62 (C⁴), 150.30 (C⁵), 158.43 (C²_{Ar}), 186.30 (C³), 189.38 (C¹). Минорный *E*-изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 7.03 д (1H, *J* 7.5 Гц, H_{Ar}), 7.34-7.40 м (2H, Ph), 7.52-7.55 м (3H, Ph), 7.80-7.82 м (1H, H_{Ar}), 7.94-7.97 м (1H, H_{Ar}), 8.12 с (1H, =CH), 8.23 д (1H, *J* 7.8 Гц, H_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (100 МГц, δ , м.д.): 118.97 (C³_{Ar}), 121.01 (C⁵_{Ar}), 121.14 (C¹_{Ar}), 128.29 (C⁶_{Ar}), 129.09, 129.88, 130.70 (CH_{Ph}), 131.27 (C⁴_{Ar}), 135.94 (C²), 135.74 (=CH), 140.26 (C¹_{Ph}), 147.10 (C⁴), 149.60 (C⁵), 158.54 (C²_{Ar}), 186.79 (C³), 189.38 (C¹).

Метил 2(Z,E)-[(2-фурилметилен)-4-оксо-2-фенил-3-хлорциклопент-2-ен-1-илиден]ацетат (9). К раствору 30 мг (0.105 ммоль) соединения **8** в 6 мл безводного бензола добавляли 0.106 г (0.162 ммоль) метил (трифенилфосфоранилиден)ацетата и перемешивали при комнатной температуре 40 ч (контроль по ТСХ). Бензол упаривали, остаток хроматографировали на колонке с SiO₂ (элюент – EtOAc–петролейный эфир, 1:1). Выход 20 мг (56%). ИК спектр, ν , см⁻¹: 2954, 2855, 1781, 1719, 1616, 1491, 1437, 1363, 1300, 1266, 1170, 1027, 945, 882, 737, 697. Масс спектр (EI), m/z (%): 341 (342, 343) [M + H]⁺ (100). C₁₉H₁₃ClO₄. Основной изомер. Спектр ЯМР ¹H, δ , м.д.: 3.42 с (3H, OCH₃), 6.54-6.55 м (1H, H⁴_{фурил}), 6.89 д (1H, *J* 3.3 Гц, H³_{фурил}), 7.37 с (1H, =C²H), 7.43-7.49 м (4H, Ph, H⁵_{фурил}), 7.54 с (1H, =CH), 7.72 д (2H, *J* 7.2 Гц, Ph).

Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 51.08 (OCH_3), 113.05 ($\text{C}^4_{\text{фурил}}$), 115.87 ($\text{C}^3_{\text{фурил}}$), 118.57 (C^5), 120.99 ($=\text{C}^2\text{H}$), 121.70 ($=\text{CH}$), 124.51 (C^1), 128.33, 128.86, 129.61 (CH_{Ph}), 142.07 (C^1_{Ph}), 138.81 (C^3), 146.15 ($\text{C}^5_{\text{фурил}}$), 150.66 ($\text{C}^2_{\text{фурил}}$), 153.48 (C^2), 166.47 (CO_2Me), 189.25 (C^4). Минорный изомер. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 3.89 с (3H, OCH_3), 6.62-6.63 м (1H, $\text{H}^4_{\text{фурил}}$), 6.99 д (1H, J 3.4 Гц, $\text{H}^3_{\text{фурил}}$), 7.38 с (1H,

$=\text{C}^2\text{H}$), 7.43-7.49 м (4H, Ph, $\text{H}^5_{\text{фурил}}$), 7.51 с (1H, $=\text{CH}$), 7.67 д (2H, J 6.9 Гц, Ph). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 52.38 (OCH_3), 113.45 ($\text{C}^4_{\text{фурил}}$), 115.87 ($\text{C}^3_{\text{фурил}}$), 118.80 (C^5), 120.99 ($=\text{C}^2\text{H}$), 122.60 ($=\text{CH}$), 124.51 (C^1), 128.28, 129.20, 129.66 (CH_{Ph}), 142.07 (C^1_{Ph}), 140.97 (C^3), 146.37 ($\text{C}^5_{\text{фурил}}$), 150.66 ($\text{C}^2_{\text{фурил}}$), 153.48 (C^2), 166.47 (CO_2Me), 191.93 (C^4).

Анализы выполнены на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ УФИЦ РАН.

Литература

1. Kato T., Fukushima M., Kurozumi S., Noyori R. Antitumor activity of 7-prostaglandin A_1 and Δ^{12} -prostaglandin J_2 *in vitro* and *in vivo* // *Cancer Res.* – 1986. – V.46, №7. – Pp.3538-3542.
2. Iguchi K., Kaneta S., Mori K., Yamada Y., Honda A., Mori Y. Chlorovulones, new, halogenated marine prostanoids with an antitumor activity from stolonifer *Clavularia viridis* Quoy and Gaimard. // *Tetrahedron Lett.* – 1985. – V.26. – Pp.5787-5790.
3. Hori H., Nagasawa H., Ishibashi M., Uto Y., Hirata A., Saijo K., Ohkura K., Kirk K.L. and Uehara Y. TX-1123: An Antitumor 2-Hydroxyarylidene-4-cyclopentene-1,3-Dione as a Protein Tyrosine Kinase Inhibitor Having Low Mitochondrial Toxicity // *Bioorg. Med. Chem.* – 2002. – V.10. – Pp.3257-3265.
4. Umezawa H., Takeuchi T., Nitta K., Yamamoto T., Yamaoka S. Sarkomycin, an anticancer substance produced by streptomyces // *J. Antibiot. Ser. A.* – 1953. – A 6. – P.101.
5. Chia Y.-C., Wu J.-B. and Wu Y.-C. Two novel cyclopentenones from *Fissistigma oldhamii* // *Tetrahedron Lett.* – 2000. – Pp. 2199-2201.
6. Li X.-C., Ferreira D., Jacob M.R., Zhang Q., Khan S.I., Elsohly H.N., Nagle D.G., Smillie T.J., Khan I.K., Walker L.A. and Clark A.M. Antifungal cyclopentenediones from *Piper coruscans* // *J. Am. Chem. Soc.* – 2004. – V.126. – Pp.6872-6873.
7. Egorov V.A., Khasanova L.S., Gimalova F.A., Lobov A.N., Ishmetova D.V., Vakhitov V.A., Miftakhov M.S. Cytotoxicity of novel cross-conjugated arylated cyclopentene-1,3-diones // *Mendeleev Commun.* – 2022. – V.32, №2. – Pp.183-185.
8. Ахметвалеев Р.Р., Акбутина Ф.А., Иванова Н.А., Мифтахов М.С. Новые хлорированные циклопентеноны из гексахлорциклопентадиена: получение, химические свойства и использование в направленном синтезе // *Изв. АН. Сер. хим.* – 2001. – №9. – С.1417-1435.
9. Baik W., Lee H. J., Yoo C. H., Jung J. W., Kim B. H. NBS-Promoted Reactions of Symmetrically Hindered Methylphenols via p-Benzoquinone Methide // *J. Org. Chem.* – 2000. – V.65. – Pp.108-115.
10. Egorov V.A. Gimalova F.A., Khalikova G.M., Miftakhov M.S. Design and synthesis of novel polyheterofunctionalized cyclopentenones // *Tetrahedron.* – 2012. – V.68. – Pp.7122-7128.
11. Егоров В.А., Гималова Ф.А., Хасанова Л.С., Ишметова Д.В., Мифтахов М.С. Промотируемые Zn реакции (2Z,E)-[2-арил(гетарил)метилен]-5-фенил-(2,4,6-триметоксифенил)-4-хлорциклопент-4-ен-1,3-дионов с метил бромацетатом // *ЖОрХ.* – 2022. – Т.58, №11. – С.1253-1258.

References

1. Kato T., Fukushima M., Kurozumi S., Noyori R. [Antitumor activity of 7-prostaglandin A_1 and Δ^{12} -prostaglandin J_2 *in vitro* and *in vivo*]. *Cancer Res.*, 1986, vol.46, no.7, pp.3538-3542.
2. Iguchi K., Kaneta S., Mori K., Yamada Y., Honda A., Mori Y. [Chlorovulones, new, halogenated marine prostanoids with an antitumor activity from stolonifer *Clavularia viridis* Quoy and Gaimard]. *Tetrahedron Lett.*, 1985, vol.26, pp.5787-5790.
3. Hori H., Nagasawa H., Ishibashi M., Uto Y., Hirata A., Saijo K., Ohkura K., Kirk K.L., Uehara Y. [TX-1123: An Antitumor 2-Hydroxyarylidene-4-cyclopentene-1,3-Dione as a Protein Tyrosine Kinase Inhibitor Having Low Mitochondrial Toxicity]. *Bioorg. Med. Chem.*, 2002, vol.10, pp.3257-3265.
4. Umezawa H., Takeuchi T., Nitta K., Yamamoto T., Yamaoka S. [Sarkomycin, an anticancer substance produced by Streptomyces]. *J. Antibiot. Ser. A*, 1953, A 6, p.101.
5. Chia Y.-C., Wu J.-B., Wu Y.-C. [Two novel cyclopentenones from *Fissistigma oldhamii*]. *Tetrahedron Lett.*, 2000, vol.41, pp. 2199-2201.
6. Li X.-C., Ferreira D., Jacob M.R., Zhang Q., Khan S.I., Elsohly H.N., Nagle D.G., Smillie T.J., Khan I.K., Walker L.A., Clark A.M. [Antifungal cyclopentenediones from *Piper coruscans*]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2004, vol.126, pp.6872-6873.
7. Egorov V.A., Khasanova L.S., Gimalova F.A., Lobov A.N., Ishmetova D.V., Vakhitov V.A., Miftakhov M.S. [Cytotoxicity of novel cross-conjugated arylated cyclopentene-1,3-diones]. *Mendeleev Commun.*, 2022, vol.32, no.2, pp.183-185.
8. Akhmetvaleev R.R., Akbutina F.A., Ivanova N.A., Miftakhov M.S. [New chlorinated cyclopentenones prepared from hexachlorocyclopentadiene: synthesis, chemical properties, and application in the synthesis]. *Russ. Chem. Bull.*, 2001, vol.50, pp. 1489-1509.
9. Baik W., Lee H. J., Yoo C. H., Jung J. W., Kim B. H. [NBS-Promoted Reactions of Symmetrically Hindered Methylphenols via p-Benzoquinone Methide]. *J. Org. Chem.*, 2000, vol.65, pp. 108-115.
10. Egorov V.A. Gimalova F.A., Khalikova G.M., Miftakhov M.S. [Design and synthesis of novel polyheterofunctionalized cyclopentenones]. *Tetrahedron*, 2012, vol.68, pp. 7122-7128.
11. Egorov V.A., Khasanova L.S., Gimalova F.A., Ishmetova D.V., Miftakhov M.S. [Zn promoted Reactions of (2Z,E)-[2-aryl(hetaryl)methylen]-5-phenyl(2,4,6-trimethoxyphenyl)-4-chlorocyclopent-4-en-1,3-diones with Methyl Bromoacetate]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2022, vol.58, no.11, pp.1668-1672.