

М. Н. Сайфутдинова, Н. И. Шаталова, О. Е. Шматова,
Е. Л. Гаврилова

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАЛИКС[4]РЕЗОРЦИНОВ, НЕСУЩИХ АЛКИЛЬНЫЙ РАДИКАЛ ПО НИЖНЕМУ «ОБОДУ» МОЛЕКУЛЫ, С ГИДРАЗИДОМ ДИФЕНИЛФОСФОРИЛУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ

Ключевые слова: каликс[4]резорцины, гидразид дифенилфосфорилуксусной кислоты, комплексы по типу «гость-хозяин».

Макроциклические соединения – каликсрезорцины – представляют собой полостную систему с жесткой чашеобразной полостью, содержащей четыре резорцинольных кольца, которые обеспечивают богатую π -электронами полость и полярные гидроксильные группы в верхнем «ободу» резорцин[4]арена. В данной работе мы представляем данные о получении комплексов по типу «гость-хозяин» С – алкилированных каликсрезорцинов в конформации «кресло» с Фосеназидом – ([2-(дифенилфосфорил)ацетогидразидом]), который существует в виде двух кристаллических модификаций I и II. Для оценки характера взаимодействия между каликсрезорцинами и Фосеназидом использовались методы ЯМР, УФ и ИК спектроскопии. Состав выделенных комплексов определялся методом элементного анализа. Согласно данным элементного анализа соотношение «гостя» и «хозяина» во всех выделенных комплексах одинаково и составляет 2:1. Природа взаимодействия – во всех случаях водородное связывание между группами P=O и C=O двух молекул «гостя» Фосеназида и гидроксильными группами одного «хозяина» каликсрезорцина. Длина алкильного радикала по нижнему «ободу» каликсрезорцинов влияет на степень участия этих групп в процессе взаимодействия и на определенную разницу в структурах. Длинные алкильные радикалы C₉H₁₉ и C₇H₁₅ по нижнему «ободу» каликсрезорцина делают полость менее жесткой по сравнению с каликсрезорцином, несущим по нижнему «ободу» радикал CH₃. Поэтому в случае каликс[4]резорцинов с радикалами C₉H₁₉ и C₇H₁₅ во взаимодействии участвует модификация Фосеназида II, что характеризуется слабым участием в водородном связывании как Фосеназида, так и каликс[4]резорцинов. Напротив, в случае образования комплекса каликс[4]резорцина с радикалом CH₃ наблюдается участие модификации Фосеназида I. Каждая из молекул «гостя» предоставляет четыре центра связывания, способные образовывать водородные связи с восемью гидроксильными группами каликс[4]резорцина.

М. N. Sayfutdinova, N. I. Shatalova, O. E. Shmatova,
E. L. Gavriloa

INTERACTION OF CALYX[4]RESORCINONS CARRYING AN ALKYL RADICAL AT THE LOWER «RIM» OF THE MOLECULE WITH DIPHENYLPHOSPHORYLACACETIC ACID HYDRAZIDE

Keywords: calix[4]resorcinols, diphenylphosphorylacetic acid hydrazide, «host-guest» complexes.

Macrocyclic compounds – calixresorcins – are a cavity system with a rigid cup-shaped cavity containing four resorcinol rings, which provide a π -electron-rich cavity and polar hydroxyl groups at the upper rim of the resorcinol[4]arene. In this paper, we present data on the production of «guest-host» complexes of C – alkylated calixresorcins in the armchair conformation with Phosenezide – ([2-(diphenylphosphoryl)acetohydrazide]), which exists in the form of two crystalline modifications I and II. NMR, UV and IR spectroscopy methods were used to assess the nature of the interaction between calixresorcins and Phosenezide. The composition of the isolated complexes was determined by the method of elemental analysis. According to the data of the elemental analysis, the ratio of «guest» and «host» in all selected complexes is the same and is 2:1. The nature of the interaction is in all cases hydrogen bonding between the P=O and C=O groups of two «guest» molecules of Phosenezide and hydroxyl groups of one «host» of calixresorcinol. The length of the alkyl radical along the lower «rim» of calixresorcins affects the degree of participation of these groups in the interaction process and a certain difference in structures. The long alkyl radicals C₉H₁₉ and C₇H₁₅ along the lower «rim» of calixresorcinol make the cavity less rigid compared to calixresorcinol, which carries the CH₃ radical along the lower «rim». Therefore, in the case of calix[4]resorcins with C₉H₁₉ and C₇H₁₅ radicals, a modification of Phosenezide II is involved in the interaction, which is characterized by weak participation in hydrogen binding of both Phosenezide and calix[4]resorcins. On the contrary, in the case of the formation of the calix[4]resorcinol complex with the CH₃ radical modification of Phosenezide I is observed. Each of the «guest» molecules provides four binding centers capable of forming hydrogen bonds with eight hydroxyl groups of calix[4]resorcinol.

Введение

Одно из важных направлений в органической химии супрамолекулярных систем это использование макроциклических соединений для создания различных комплексов–включений. Макроциклические соединения каликсрезорцины представляют собой полостную систему, причем ее преимуществом является легкость синтеза, заметная конформационная однородность, мультицентровый характер взаимодействия как за счет участия

гидрофобной полости, так и направленной функционализации верхнего или нижнего «обода» молекулы. Жесткая чашеобразная полость содержит несколько резорциновых колец, которые обеспечивают богатую π -электронами полость и несколько полярных гидроксильных групп в верхнем ободу резорцин[4]арена.

Нашей группой [1-5] были опубликованы результаты по синтезу и исследованию комплексов «гость-хозяин» на основе каликс[4]резорцина, несущего *n*-толильный радикал по нижнему «ободу»

молекулы с различной модификацией верхнего «обода» с Фосеназидом и КАПАХом, относящимся к классу гидразидов фосфорилуксусных кислот и известных как соединения, обладающие нейротропной активностью.

В данной работе мы представляем данные о получении комплексов С – алкилированных каликсерезорцинов 1-3 в конформации «кресло» с Фосеназидом 4 – ([2-(дифенилфосфорил)ацетогидразидом]) (схема 1).

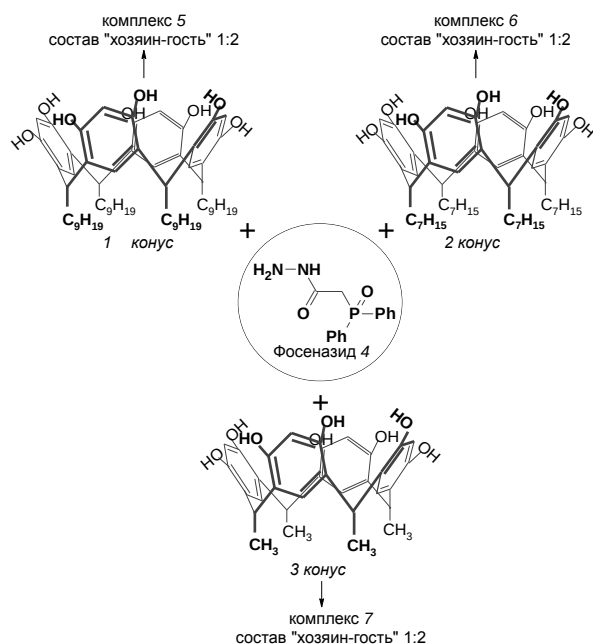


Схема 1

Scheme 1

Известно, что размер, форма и полярность комплексов включения С-алкилкаликс[4]резорцин-аренов используются в качестве обширных приложений в биологической и фармацевтической области, жидкокристаллических приложениях, комплексообразовании, эффективных анти-ВИЧ, добавках для смазочных материалов и антиоксидантных препаратов [6, 7]. Каликсарены, проявляющие низкую цитотоксичность [8-10], могут с лекарствами образовывать комплекс «хозяин-гость». Зачастую связывание между лекарственным средством и каликсареном осуществляется за счет нековалентных взаимодействий (π - π , СН- π , электростатическое взаимодействие, водородные связи и гидрофобное взаимодействие), при этом система каликсарен/лекарственное средство может реагировать на внешние стимулы, обеспечивая замедленное высвобождение лекарственного средства и предполагая его потенциальное применение в качестве системы доставки лекарственных средств [11-17].

Для оценки характера взаимодействия между каликсерезорцинами 1-3 и Фосеназидом 4 использовались методы ЯМР, УФ и ИК спектроскопии. Состав выделенных комплексов 5-6 определялся методом элементного анализа. Характерной особенностью «гостя» Фосеназида 4

является возможность его существования в виде двух кристаллических модификаций I и II (рис. 1) [18, 19], в которых полосы поглощения характеристических групп карбонильной и фосфорильной проявляются в разных областях спектра: две полосы поглощения $\nu(\text{C=O})$ при 1684 и 1668 см^{-1} и $\nu(\text{P=O})$ при 1184 и 1190 см^{-1} , которые соответствуют двум его кристаллическим модификациям I и II, соответственно. В растворе могут протекать равновесные превращения между этими модификациями, в модификации II реализуется внутримолекулярное водородное связывание между фосфорильной группой и водородом группы NH_2 гидразидной группы Фосеназида (рис. 1, табл. 1).

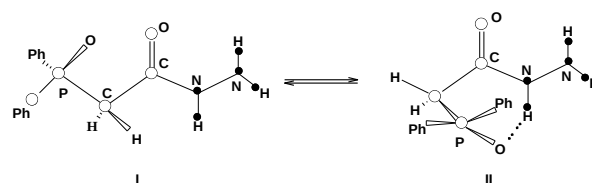


Рис.1 – Модификации Фосеназида

Fig. 1 – Modifications of Fosenazide

В процессе инклюзивного комплексообразования Фосеназид может принимать участие за счет карбонильных и фосфорильных групп. На степень их участия укажет изменение характера полос поглощения этих групп в ИК-спектрах. Кроме того по смещению резонансного сигнала атома фосфора фосфорильной группы в ЯМР ^{31}P в сильное или слабое поле можно также оценить участие фосфорильной группы в процессе связывания с каликсерезорцинами 1-3.

В ЯМР ^{31}P спектрах выделенных комплексов 5-7 наблюдается смещение резонансного сигнала фосфора (табл. 1), причем наиболее значительное в случае комплекса 7.

Таблица 1 – Спектральные и аналитические данные соединений 4-7

Table 1 – Spectral and analytical data of compounds 4-7

Соединение	$\nu\text{C=O}$	$\nu\text{P=O}$	$\delta^{31}\text{P}$, м.д. (ДМСО)	Элементный анализ			
				Вычислено, %	Найдено, %	Вычислено, %	Найдено, %
				N	N	P	P
Ф ¹	1684	1184	27.15	10.22	10.22	11.31	11.30
Ф ²	1668	1190					
4	1669	1187	27.15	10.22	10.20	11.31	11.29
5	1655	1167	27.09	3.63	3.70	4.03	3.96
6	1665	1171	27.10	3.92	3.90	4.34	4.38
7	1689	1167	31.08	5.13	5.13	5.68	5.60

Примечание:

Ф¹ – модификация Фосеназида I

Ф² – модификация Фосеназида II

Исследование процесса комплексообразования каликсрезорцинов 1-3 с Фосеназидом 4 методом УФ спектроскопии проводили в растворе этилового спирта при длине волны $\lambda = 266$ нм. Было найдено, что интенсивность полосы поглощения «гостя» 4 в комплексе относительно его исходного спектра не претерпевает значительных изменений. На рисунке 2 приведены графики зависимости оптической плотности A от концентрации c . Во всех случаях наблюдается угол наклона между графиком «гостя» и графиком «гость-хозяин», что указывает на процесс комплексообразования (рис. 2).

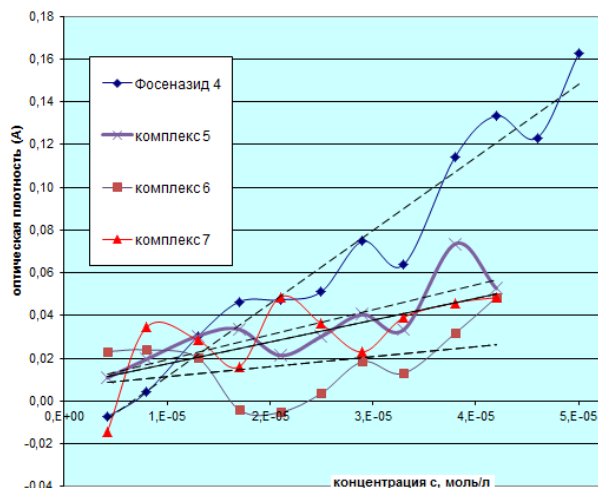


Рис. 2 – Графики зависимости оптической плотности A от концентрации c (в этаноле)

Fig. 2 – Plots of dependence of optical density A on concentration c (in ethanol)

При исследовании характера взаимодействия между «хозяином» 1-3 и «гостем» 4 методом ИК спектроскопии важными областями являются области полос поглощения карбонильной, фосфорильной групп Фосеназида и полос поглощения гидроксильных групп каликсрезорцинов.

Изучение комплексов 5-7 методом ИК спектроскопии показало, что полосы поглощения валентных колебаний карбонильной и фосфорильной групп смещаются относительно аналогичных полос поглощения в спектре «гостя» 4 (табл. 1).

В ИК-спектрах комплексов 5 и 6 в области 1000-2000 cm^{-1} наблюдается низкочастотное смещение полос поглощения валентных колебаний групп $\text{P}=\text{O}$ и $\text{C}=\text{O}$ по сравнению с колебаниями этих групп в Фосеназиде 4 (табл. 1). Сопоставление значений $\nu(\text{C}=\text{O})$ и $\nu(\text{P}=\text{O})$ «гостя» 4 и комплексов 5 и 6 указывает на участие в комплексообразовании модификации Фосеназида II. В области 3000-3500 cm^{-1} ИК-спектров комплексов 5 и 6 не наблюдается существенных изменений полос поглощения гидроксильных групп по сравнению с аналогичными колебаниями исходных каликсрезорцинов 1 и 2, что говорит об их небольшом вкладе во взаимодействие с «гостем».

В ИК-спектре комплекса 7 наблюдаются значительные смещения полос поглощения $\nu(\text{C}=\text{O})$ и

$\nu(\text{P}=\text{O})$ групп Фосеназида 4. Причем, если для группы $\text{P}=\text{O}$ смещение на 20 cm^{-1} в низкочастотную область, то для группы $\text{C}=\text{O}$ на такое же значение смещение наблюдается в высокочастотную область. Таким образом, участие этих групп в связывании с «хозяином» 3 значительно выше, чем с «хозяевами» 1 и 2. Очевидно это связано с участием во взаимодействии другой модификации Фосеназида. Можно предположить, что в комплексе 7 «гость» 4 находится в модификации I. Сравнение ИК-спектров комплекса 7 и каликс[4]резорцина 3 в области 3000-3500 cm^{-1} (рис. 3) позволяет увидеть сильные изменения формы полосы поглощения гидроксильных групп, а также смещение максимума этой полосы поглощения. Данный факт констатирует более сильное взаимодействие гидроксильных групп «хозяина» 3 по сравнению с аналогичным взаимодействием «хозяев» 1 и 2.

Данные элементного анализа показали что соотношения «гостя» и «хозяина» во всех комплексах 5-7 одинаково и составляет 2:1.

В заключении можно резюмировать, что длина алкильного радикала по нижнему «ободу» каликсрезорцинов 1-3 не влияет на состав и природу взаимодействия – во всех случаях это водородное связывание между группами $\text{P}=\text{O}$ и $\text{C}=\text{O}$ двух молекул «гостя» Фосеназида и гидроксильными группами одного «хозяина» каликсрезорцинов 1-3. Однако разница в степени участия этих групп в комплексах 5-7 указывает на определенную разницу в структурах. Очевидно, длинные алкильные радикалы C_9H_{19} и C_7H_{15} в каликсрезорцинах 1 и 2, соответственно, делают полость менее жесткой по сравнению с каликсрезорцином 3, несущим по нижнему «ободу» радикал CH_3 . Поэтому во взаимодействии с 1 и 2 участвует компактная модификация Фосеназида II, что характеризуется слабым участием как Фосеназида, так и каликсрезорцинов. Напротив, в случае комплекса 7 мы наблюдаем участие более гибкой модификации I. Каждая из молекул «гостя» предоставляет четыре центра связывания, способные образовывать водородные связи с восемью гидроксильными группами каликс[4]резорцина 3.

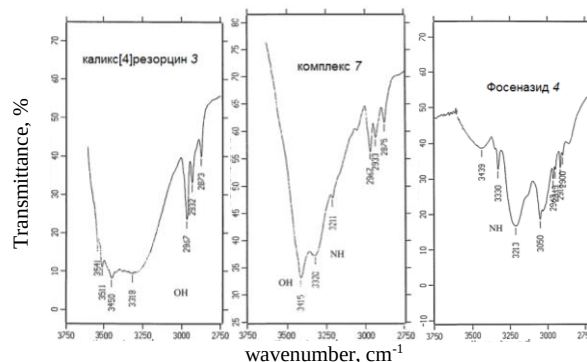


Рис. 3 – Фрагменты ИК-спектров в области 3000-3500 cm^{-1}

Fig. 3 – Fragments of IR spectra in the region of 3000-3500 cm^{-1}

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H регистрировали на спектрометре Bruker MSL-400 с рабочей частотой 400 МГц., ЯМР ^{31}P – на приборе Bruker MSL-400 (с рабочей частотой 166.93 МГц) относительно внешнего стандарта – 85%-ной H_3PO_4 , ИК – на Фурье-спектрометре Vector 22 фирмы Bruker в таблетках KBr, УФ – на спектрометре UV-Vis Lambda 35 (в кварцевых кюветах толщиной 1.0 см).

Температуру плавления веществ определяли на нагревательном столике «Voetius».

Каликс[4]резорцины 1 – 4,6,10,12,16,18,22,24-октагидрокси-2,8,14,20-тетранонилпентацикло[19.3.1.1^{3,7}.1^{9,13}.1^{15,19}]октакоза-1(25),3,5,7(28),9,11,13(27),15,17,19(26),21,23-додэкаен (изомер конус), 2 – 4,6,10,12,16,18,22,24-октагидрокси-2,8,14,20-тетрагептилпентацикло[19.3.1.1^{3,7}.1^{9,13}.1^{15,19}]октакоза-1(25),3,5,7(28),9,11,13(27),15,17,19(26),21,23-додэкаен (изомер конус), 3 – 4,6,10,12,16,18,22,24-октагидрокси-2,8,14,20-тетраметилпентацикло[19.3.1.1^{3,7}.1^{9,13}.1^{15,19}]октакоза-1(25),3,5,7(28),9,11,13(27),15,17,19(26),21,23-додэкаен (изомер конус) синтезированы по известной методике [20].

Общая методика синтеза комплексов на основе каликс[4]резорцинов 1-3 и Фосеназида 4

К растворенным в 10 мл этанола 3 г (3 ммоль) каликс[4]резорцинов 1-3 прикапывали этанольный раствор 3.29 г (12 ммоль) Фосеназида 4 при постоянном перемешивании. Реакционную смесь кипятили в течение 1 часа, затем сутки перемешивали при комнатной температуре. Этанол удаляли в вакууме водоструйного насоса (10 мм рт. ст.). Осадок отфильтровывали и перекристаллизовывали из этанола, сушили в вакууме масляного насоса (0.4 мм рт. ст.) над P_2O_5 до постоянного веса.

Соединение 5 – комплекс «гость – хозяин» гидразида фосфорилуксусной кислоты 4 с каликс[4]резорцином 1.

Получено 3.55 г (76%) комплекса 5 в виде бежевого порошка. $T_{\text{пл}}$ 210°C. Спектр ЯМР ^{31}P ($(\text{CD}_3)_2\text{SO}$), (δ , м.д.): 27.09. Спектр ЯМР ^1H ($d\text{-MeOH}$), (δ , м.д.): 1.00 (д, 12H, CH-CH_3); 3.42 (д, 4H, PCH_2); 4.90 (с, 4H, CH); 6.30 (с, 4H, $m\text{-CH}_{\text{аром}}$, C_6H_2); 7.35 (м, 20H, $\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$); 7.95 (с, 8H, OH). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 1167 (P=O); 1500, 1619 ($\text{C=C}_{\text{ар}}$); 1655 (C=O); 3342 (NH,OH). Найдено, %: N 3.83; P 3.96. $\text{C}_{92}\text{H}_{126}\text{N}_8\text{O}_{12}\text{P}_2$. Вычислено, %: N 3.63; P 4.03.

Соединение 6 – комплекс «гость – хозяин» гидразида фосфорилуксусной кислоты 4 с каликс[4]резорцином 2

Выделено 3.65 г (79%) комплекса 6 в виде бледно-желтого порошка. $T_{\text{пл}}$ 118°C. Спектр ЯМР ^{31}P ($(\text{CD}_3)_2\text{SO}$), (δ , м.д.): 27.10. Спектр ЯМР ^1H ($d\text{-MeOH}$), (δ , м.д.): 1.00 (д, 12H, CH-CH_3); 3.40 (д, 4H, PCH_2); 4.90 (с, 4H, CH); 6.30 (с, 4H, $m\text{-CH}_{\text{аром}}$, C_6H_2); 7.30 (м, 20H, $\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$); 7.90 (с, 8H, OH). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 1171 (P=O); 1501, 1619 ($\text{C=C}_{\text{ар}}$); 1665

(C=O); 3307 (NH,OH). Найдено, %: N 3.90; P 4.48. $\text{C}_{84}\text{H}_{110}\text{N}_8\text{O}_{12}\text{P}_2$. Вычислено, %: N 3.92; P 4.34.

Соединение 7 – комплекс «гость – хозяин» гидразида фосфорилуксусной кислоты 4 с каликс[4]резорцином 3.

Получено 0.45 г (89%) комплекса 7 в виде бежевого порошка. $T_{\text{пл}}$ 247°C (разл.). Спектр ЯМР ^{31}P ($(\text{CD}_3)_2\text{SO}$), (δ , м.д.): 31.08. Спектр ЯМР ^1H ($d\text{-MeOH}$), (δ , м.д.): 1.45 (д, 12H, CH-CH_3); 3.42 (д, 4H, PCH_2); 4.90 (с, 4H, CH); 6.30 (с, 4H, $m\text{-CH}_{\text{аром}}$, C_6H_2); 7.6 (м, 20H, $\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_2$); 7.95 (с, 8H, OH). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 1167 (P=O); 1506, 1621 ($\text{C=C}_{\text{ар}}$); 1689 (C=O); 3220, 3415 (NH,OH). Найдено, %: N 5.13; P 5.60. $\text{C}_{60}\text{H}_{62}\text{N}_4\text{O}_{12}\text{P}_2$. Вычислено, %: N 5.13; P 5.68.

Литература

1. М.Н. Сайфутдинова, Н.И. Шаталова, Е.Л. Гаврилова, Р.И. Тарасова, И.П. Пашина, И.И. Семина, *Вестник технологического университета*, 11, 127-129 (2011).
2. Н.И. Шаталова, М.Н. Сайфутдинова, Е.Л. Гаврилова, Р.И. Тарасова, И.П. Пашина, И.И. Семина, *Вестник технологического университета*, 8, 28-33 (2011).
3. И.П. Пашина, А.В. Макарова, И.И. Семина, С.А. Сидуллина, М.Н. Сайфутдинова, Е.Л. Гаврилова, Н.И. Шаталова, Р.И. Мустафин, *Фармация*, 5, 6-8 (2012).
4. Е.Л. Гаврилова, М.Н. Сайфутдинова, Р.И. Тарасова, *Вестник технологического университета*, 16, 19, 11-14 (2013).
5. Е.Л. Гаврилова, М.Н. Сайфутдинова, Р.И. Тарасова, Н.И. Шаталова, И.И. Семина, А.Т. Губайдуллин, *Известия Академии наук. Серия химическая*, 5, 1372-1376 (2016).
6. A.M. Soomto, R.K. Oad, Sh. Memon, I. Qureshi, *Pak. J. Anal. Environ. Chem.*, 13, 36-39 (2012).
7. K. Sathiyaseelana, A. Antony Muthu Prabhu, *J. Mol. Struct.*, 1292, 136093 (2023).
8. D.-S. Guo, Y. Liu, *Acc. Chem. Res.*, 47, 7, 1925-1934 (2014).
9. F. Perret, A.W. Coleman, *Chem. Commun.*, 47, 7303-7319 (2011).
10. J. Wang, X. Ding, X. Guo, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 269, 187-202 (2019).
11. S. Moerkerke, J. Wouters, I. Jabin, *J. Org. Chem.*, 80, 8720-8726 (2015).
12. J.E. Morozova, V.V. Syakaev, E. Kazakova, Y.V. Shalaeva, I.R. Nizameev, M.K. Kadirov et al., *Soft Matter*, 12, 5590-5599 (2016).
13. Barbera L, Gattuso G, Kohnke FH, Notti A, Pappalardo S, Parisi MF, et al. Selfassembly of amphiphilic anionic calix[4]arenes and encapsulation of poorly soluble naproxen and flurbiprofen. *Org Biomol Chem* 2015;13:6468-73.
14. M.-X. Chen, T. Li, S. Peng, D. Tao, *New J. Chem.*, 40, 9923-9929 (2016).
15. A.M. Bektukhametova, R.R. Kashapov, M.N. Saifutdinova, E.L. Gavrilova, V.A. Mamedov, N.A. Zhukova et al., *Macrocyclics*, 10, 164-168 (2017).
16. G. Arena, A. Pappalardo, S. Pappalardo, G. Gattuso, A. Notti, M.F. Parisi et al., *J. Thermal. Anal. Calorim.*, 121, 1073-1079 (2015).
17. Z. Rafiee, A. Kakanejadifard, R. Hosseinzadeh, M. Nemati, M. Adeli, *RSC Adv.*, 6, 17470-17473 (2016).
18. R.I. Tarasova, I.I. Semina, O.V. Voskresenskaya, M.L. Larina, E.A. Mukhutdinov, A.T. Gubaidullin, I.A. Litvinov, *Pharm. Chem. J.*, 41, 2, 69-73 (2007).
19. А.Б. Ремизов, М.В. Алпарова, Р.И. Тарасова, Л.П. Сырнева, В.В. Москва, А.И. Разумов, *ЖОХ*, 55, 7, 1489-1496 (1985).
20. S. Miao, R.D. Adams, D.-S. Guo, Q.-F. Zhang, *J. Mol. Struct.*, 659, 119-128 (2003).

References

1. M.N. Sayfutdinova, N.I. Shatalova, E.L. Gavrilova, R.I. Tarasova, I.P. Pashina, I.I. Semina, *Herald of Technological University*, 11, 127-129 (2011).
2. N.I. Shatalova, M.N. Sayfutdinova, E.L. Gavrilova, R.I. Tarasova, I.P. Pashina, I.I. Semina, *Herald of Technological University*, 8, 28-33 (2011).
3. I.P. Pashina, A.V. Makarova, I.I. Semina, S.A. Sidullina, M.N. Sayfutdinova, E.L. Gavrilova, N.I. Shatalova, R.I. Mustafin, *Pharmacia*, 5, 6-8 (2012).
4. E.L. Gavrilova, M.N. Sayfutdinova, R.I. Tarasova, *Herald of Technological University*, 16, 19, 11-14 (2013).
5. E.L. Gavrilova, M.N. Sayfutdinova, R.I. Tarasova, N.I. Shatalova, I.I. Semina, A.T. Gubaidullin, *Izvestiya Akademii Nauk. Seriya khimicheskaya*, 5, 1372-1376 (2016).
6. A.M. Soomto, R.K. Oad, Sh. Memon, I. Qureshi, *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* 13, 36-39 (2012).
7. K. Sathiyaseelana, A. Antony Muthu Prabhu, *J. Mol. Struct.*, 1292, 136093 (2023).
8. D.-S. Guo, Y. Liu, *Acc. Chem. Res.*, 47, 7, 1925-1934 (2014).
9. F. Perret, A.W. Coleman, *Chem. Commun.*, 47, 7303-7319 (2011).
10. J. Wang, X. Ding, X. Guo, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 269, 187-202 (2019).
11. S. Moerkerke, J. Wouters, I. Jabin, *J. Org. Chem.*, 80, 8720-8726 (2015).
12. J.E. Morozova, V.V. Syakaev, E. Kazakova, Y.V. Shalaeva, I.R. Nizameev, M.K. Kadirov et al, *Soft Matter*, 12, 5590-5599 (2016).
13. Barbera L, Gattuso G, Kohnke FH, Notti A, Pappalardo S, Parisi MF, et al. Selfassembly of amphiphilic anionic calix[4]arenes and encapsulation of poorly soluble naproxen and flurbiprofen. *Org. Biomol. Chem.* 2015;13:6468-73.
14. M.-X. Chen, T. Li, S. Peng, D. Tao, *New J. Chem.*, 40, 9923-9929 (2016).
15. A.M. Bektukhametova, R.R. Kashapov, M.N. Saifutdinova, E.L. Gavrilova, V.A. Mamedov, N.A. Zhukova et al, *Macrocyclics*, 10, 164-168 (2017).
16. G. Arena, A. Pappalardo, S. Pappalardo, G. Gattuso, A. Notti, M.F. Parisi et al, *J. Thermal. Anal. Calorim.*, 121, 1073-1079 (2015).
17. Z. Rafiee, A. Kakanejadifard, R. Hosseinzadeh, M. Nemati, M. Adeli, *RSC Adv.*, 6, 17470-17473 (2016).
18. R. I. Tarasova, I. I. Semina, O. V. Voskresenskaya, M.L. Larina, E.A. Mukhutdinov, A.T. Gubaidullin, I.A. Litvinov, *Pharm. Chem. J.*, 41, 2, 69-73 (2007).
19. A.B. Remizov, M.V. Alparova, R.I. Tarasova, L.P. Syrneva, V.V. Moscow, A.I. Razumov, *Russian Journal of General Chemistry*, 55, 7, 1489-1496 (1985).
20. S. Miao, R.D. Adams, D.-S. Guo, Q.-F. Zhang, *J. Mol. Struct.*, 659, 119-128 (2003).

© **М. Н. Сайфутдинова** – канд. хим. наук, доцент кафедры Органической химии имени академика А.Е. Арбузова (ОХ), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, SayfutdinovaMN@corp.knrtu.ru; **Н. И. Шаталова** – канд. хим. наук, доцент кафедры ОХ, КНИТУ, ShatalovaNI@corp.knrtu.ru; **О. Е. Шматова** – канд. хим. наук, доцент кафедры Аналитической химии, сертификации и менеджмента качества, КНИТУ, ShmatovaOE@corp.knrtu.ru; **Е. Л. Гаврилова** – д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой ОХ, КНИТУ, GavrilovaEL@corp.knrtu.ru.

© **М. N. Sayfutdinova** – PhD (Chemical Sci.), Associate professor, Organic Chemistry department named after academician A.E. Arbuzov (OC), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, SayfutdinovaMN@corp.knrtu.ru; **N. I. Shatalova** – PhD (Chemical Sci.), Associate professor, the OC department, KNRTU, ShatalovaNI@corp.knrtu.ru; **O. E. Shmatova** – PhD (Chemical Sci.), Associate professor, department of Analytical Chemistry, Certification and Quality Management, KNRTU, ShmatovaOE@corp.knrtu.ru; **E. L. Gavrilova** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Professor, Head of the OC department, KNRTU, GavrilovaEL@corp.knrtu.ru.