



УДК 543.544.43

Газохроматографическое исследование сорбционных свойств смешанной полимерной фазы, содержащей ацетилированный β -циклодекстрин

Онучак Л.А., Кураева Ю.Г., Платонов В.И., Чванов В.О., Белоусова З.П.

ГОУ ВПО «Самарский государственный университет», Самара

Поступила в редакцию 24.01.2012 г.

Аннотация

В работе методом газо-жидкостной хроматографии изучена сорбция органических соединений разных классов, в том числе некоторых оптических изомеров, полимерной фазой полидиметилсилоксан ПМС-100 и смешанной фазой «ПМС-100 – *гептакис*(2,3,6-*O*-ацетил)- β -циклодекстрин». Показано, что добавка хирального макроциклического соединения способствует усилению межмолекулярных взаимодействий «сорбат – неподвижная фаза» за счет образования комплексов по типу «гость – хозяин» для небольших по размеру молекул органических соединений, а также обуславливает умеренные энантиоселективные свойства исследованного сорбента.

Ключевые слова: β -циклодекстрин, газо-жидкостной хроматография, полидиметилсилоксан

In work was studied sorption of organic compounds of different classes, including some of the optical isomers, by gas-liquid chromatography, by polymeric phase polydimethylsiloxane PMS-100 and mixed phase "PMS-100 - *heptakis*(2,3,6-*O*-acetyl)- β -cyclodextrin". It is shown that the additive chiral macrocyclic compound promotes strengthening of intermolecular interactions «sorbate - stationary phase» at the expense of formation of complexes on type «guest - host» for small molecules on the size of organic compounds, and also causes moderated enantioselective properties of the investigated sorbent.

Keywords: β -cyclodextrin, gas-liquid chromatography, polydimethylsiloxane

Введение

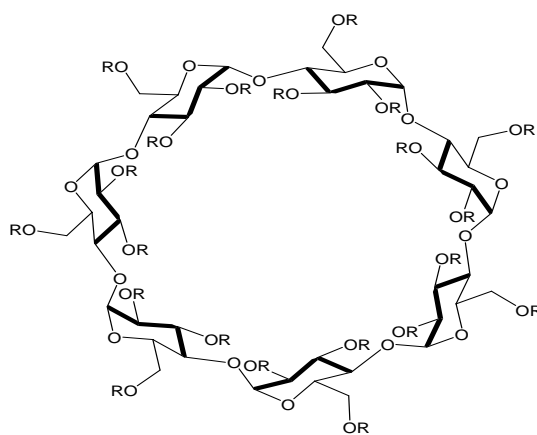
Современная хиральная газовая хроматография развивается как капиллярная с применением циклодекстринсодержащих полимерных неподвижных фаз [1-6]. Как правило, циклодекстрины и их производные либо прививают к полимерной цепи, либо растворяют в малополярных полисилоксанах. Энантиоселективность на подобных фазах обусловлена образованием комплексов "гость – хозяин" при вхождении молекулы сорбата в полость макроцикла.

Несмотря на большое число работ по аналитическому применению циклодекстриновых неподвижных фаз в капиллярной газо-жидкостной хроматографии физико-химические закономерности сорбционных явлений с участием таких фаз и ахиральных и хиральных сорбатов изучены недостаточно.

Целью работы являлось изучение газохроматографической сорбции паров органических соединений разных классов, в том числе оптически активных, смешанной полимерной неподвижной фазой «полидиметилсилоксан - ацелированный β -циклодекстрин».

Эксперимент

В качестве исходной полимерной матрицы использовали полидиметилсилоксан ПМС-100, в котором растворяли *гептакис*(2,3,6-*O*-ацетил)- β -циклодекстрин (Acetyl- β -ЦД) ($t_{пл}=290-300^\circ\text{C}$, $M_r=2034$ г/моль), синтерзирванный из β -циклодекстрина (Sigma-Aldrich) в одну стадию. При синтезе модифицированного циклодекстрина ацилирующим агентом выступал уксусный ангидрид. Данные ИК-спектроскопии подтвердили отсутствие свободных гидроксильных групп в молекуле Acetyl- β -ЦД.



, где R = -COCH₃

В работе использовали стальные насадочные колонки (1м×3 мм) с полидиметилсилоксановой фазой и смешанной фазой «полидиметилсилоксан - ацелированный β -циклодекстрин», которые наносили на инертный носитель хроматон NAW зернением 0,126 – 0,160 мм. Процент пропитки в обоих случаях составил 10%, состав смешанной неподвижной фазы: 90% масс. ПМС-100 и 10% масс. β -циклодекстрина. Для растворения ПМС-100 использовали хлороформ, а для модифицированного β -циклодекстрина – диметилформамид. При приготовлении смешанной фазы растворы ПМС-100 и Acetyl- β -ЦД сливали и из полученного раствора наносили неподвижную фазу на носитель.

Методом газо-жидкостной хроматографии в изотермическом режиме на насадочных колонках со смешанной неподвижной фазой и исходным ПМС-100 изучали сорбцию 28 органических соединений различных классов, в том числе оптически активных. Эксперимент проводили на хроматографе ЛХМ-80 с детектором по теплопроводности, газ-носитель – водород.

Основной экспериментально определяемой характеристикой являлся удельный объём удерживания V_g^T сорбатов (при температуре опыта T_c), который рассчитывали по уравнению:

$$V_g^T = F_{P_a, T_a} \frac{(t_R - t_M) \cdot j_3^2}{W_s} \cdot \frac{T_c}{T_a} \left(\frac{P_a - P_w}{P_a} \right), \quad (1)$$

где t_R и t_M – времена удерживания сорбата и несорбирующегося газа, соответственно, W_s – масса неподвижной жидкой фазы, F_{P_a, T_a} – объёмная скорость

газа-носителя ($см^3/мин$), определенная на выходе из колонки с помощью пленочного расходомера при давлении P_a (атмосферное) и температуре T_a окружающей среды, P_w – давление насыщенных паров воды при температуре T_a , j_3^2 – коэффициент Джеймса-Мартина (фактор коррекции на сжимаемость газовой подвижной фазы). Погрешность определения V_g^T составляет 1-2%.

Константы Роршайдера x, y, z, u, s , характеризующие вклады различных типов межмолекулярных взаимодействий сорбатов с неподвижной фазой в удерживание, определяли с использованием стандартных соединений (бензол, этанол, метилэтилкетон, нитрометан, пиридин) известным методом [7] при температуре 100 °С.

Оценку вклада макроциклической добавки в полимерную фазу в удерживание сорбатов проводили по формуле:

$$\delta = \frac{V_{g,2}^T - V_{g,1}^T}{V_{g,1}^T} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $V_{g,2}^T, V_{g,1}^T$ – удельные объёмы удерживания сорбатов на колонке с бинарным сорбентом и исходным полимером соответственно.

Очевидно, что величина δ пропорциональна константе комплексообразования K_X «сорбат - макроцикл» (1:1), которая рассчитывается на основании констант распределения сорбата в системе с исходной полимерной фазой K_C^0 и смешанной фазой «полимер - макроцикл» K_c . В нашей работе определить величины K_X не представлялось возможным из-за отсутствия экспериментальных данных по плотности системы «полимер - макроцикл» при температурах исследования (60-180 °С). Оценку вкладов теплоты и энтропии сорбции в величину логарифма удельного удерживания оценивали на основании линейных зависимостей:

$$\ln V_g^T = -\frac{\Delta_{sp}U}{RT} + \frac{\Delta_{sp}S'}{R}, \quad (3)$$

где $\Delta_{sp}U$ – изменение внутренней энергии, равное тепловому эффекту сорбции при $T, V = \text{const}$, $\Delta_{sp}S'$ – величина, пропорциональная изменению энтропии сорбата при переходе из стандартного состояния в газовой фазе в стандартное состояние в жидкой фазе.

Следует отметить, что стандартное значение энтропии сорбции $\Delta_{sp}S^0$ рассчитывается на основании констант сорбции (или распределения) при соответствующем выборе стандартных состояний сорбатов в газовой и жидких фазах [8], а не на основании величин V_g^T .

Обсуждение результатов

ПМС-100 – это жидкий полидиметилсилоксан $CH_3 [-SiO(CH_3)_2 -]_n CH_3$ с молекулярной массой 5000 и предельной рабочей температурой 200-300°С.

Ацетилованный β -циклодекстрин – *гептакис*(2,3,6-*O*-ацетил)- β -циклодекстрин представляет собой продукт полного замещения 21 гидроксильных групп в макроциклическом β -ЦД, построенном из семи остатков D-(+)-глюкопиранозы, соединенных друг с другом α -1,4-связями. Диаметр полости

немодифицированного β -циклодекстрина $7,8\text{\AA}$ и, согласно литературным данным, она гидрофобна [9]. Очевидно, что если полимерные цепи неполярного основного компонента (ПМС-100) из-за взаимного притяжения и малой конформационной подвижности не проникают внутрь полости, то хроматографическое удерживание неполярных сорбатов с небольшими молекулами на колонке со смешанной неподвижной фазой должно быть не меньше, чем на колонке с «чистым» ПМС.

Установлено, что действительно для короткоцепочных *n*-алканов (C_6, C_7) зависимости $V_g^T(T)$ для обеих колонок практически совпадают, тогда как при увеличении размера молекулы *n*-алкана ($C_8 - C_{10}$) величина V_g^T на колонке со смешанной неподвижной фазой несколько выше, чем на колонке с ПМС-100, рис. 1 (сорбат *n*-октан).

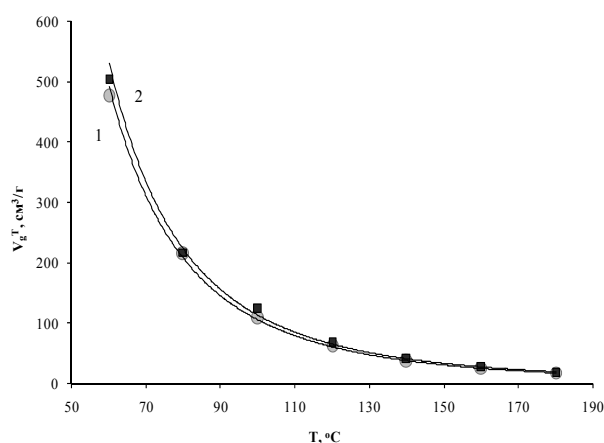


Рис. 1. Температурные зависимости V_g^T октана на сорбентах:
1 – ПМС-100, 2 – ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД

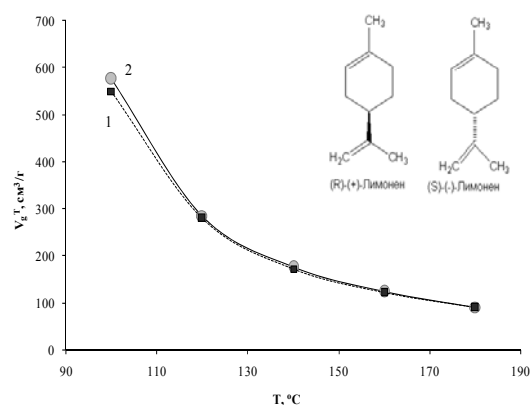


Рис. 2. Температурная зависимость V_g^T изомеров лимонена:
1 – (+)-лимонен, 2 – (-)-лимонен

Для оптических изомеров малополярных соединений (камфен, лимонен) установлено повышенное удерживание (-)-изомера по сравнению с (+)-изомером при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2 и 3). С ростом температуры колонки эти закономерности сохраняются для лимонена, а для камфена происходит обращение порядка выхода изомеров.

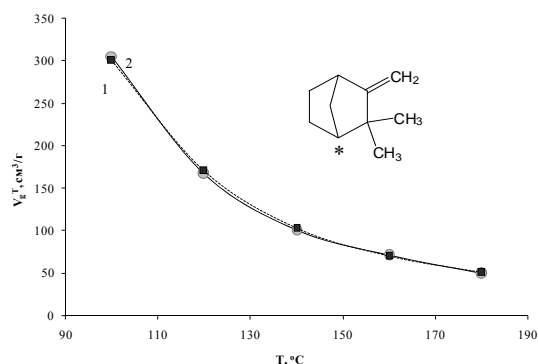


Рис. 3. Температурная зависимость V_g^T изомеров камфена:
1 – (+)-камфен, 2 – (-)-камфен

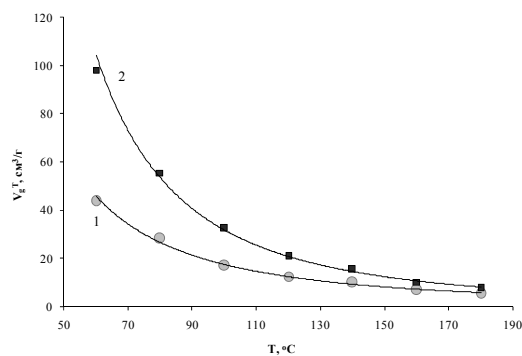


Рис. 4. Температурные зависимости V_g^T нитрометана на сорбентах:
1 – ПМС-100,
2 – ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД

Значения факторов разделения оптических изомеров лимонена и камфена смешанной полимерной фазой представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения факторов разделения оптических изомеров лимонена и камфена

Температура, °С	Лимонен			Камфен		
	$V_g^T (+)$	$V_g^T (-)$	$\alpha_{-/+}$	$V_g^T (+)$	$V_g^T (-)$	$\alpha_{-/+}$
100	551	577	1,047	300	305	1.017
120	280	286	1,021	171	167	0.977
140	173	177	1,023	103	101	0.981
160	122	124	1,016	70	71	1.014
180	90	92	1,022	50,8	50	0.984

Исследуемый сорбент оказался более селективным по отношению к оптическим изомерам лимонена, чем камфена. По-видимому, для бициклических молекул камфена вход в полость β -ЦД затруднен по сравнению с моноциклическими молекулами лимонена.

Для сорбатов с полярными молекулами рост удерживания обусловлен не только включением гидрофобных групп в полость макроцикла, но и взаимодействием с полярными ацильными группами, расположенными у входа в полость. Именно поэтому рост удерживания ярко выражен для спиртов и, особенно, для нитрометана (рис. 4).

В табл.2 представлены индексы удерживания и рассчитанные на их основании константы Роршнайдера для исследованных неподвижных фаз.

Таблица 2. Константы Роршнайдера для исследуемых неподвижных фаз

Стандартный сорбат	ПМС-100		ПМС-100 – Acetyl- β - ЦД	
	I	Значение константы	I	Значение константы
бензол	666	$x=0.17$	659	$x=0.10$
этанол	432	$y=0.48$	457	$y=0.73$
метилэтилкетон	581	$z=0.50$	584	$z=0.53$
нитрометан	536	$u=0.79$	620	$u=1.63$
пиридин	735	$s=0.40$	759	$s=0.64$

Из данных табл. 2 следует, что значения констант Роршнайдера x, y, z, u, s , характеризуют ПМС-100 как малополярную неподвижную фазу, а смешанную фазу «ПМС-100 - Acetyl- β -ЦД» можно отнести к среднеполярным неподвижным фазам типа полиметилфенилсилоксан с содержанием фенильных групп в полимерной цепи 5% [10].

Рассчитанные по уравнению (2) δ – вклады, характеризующие относительное возрастание удельного объема удерживания сорбатов за счет внесения в ПМС-100 10% масс. Acetyl- β -ЦД, представлены в таблице 3.

Максимальное значение δ -вклада обнаружено для нитрометана ($\delta=123\%$, 60°C), являющегося акцептором электронов. Высокие значения δ ($\delta>20\%$) наблюдаются также у спиртов и пиридина. Что касается n -алканов, аренов и циклических соединений (циклогексан, 1,4-диоксан, тетрагидрофуран), то для них вклад макроциклической добавки в удерживание невелик.

Таким образом, максимальный прирост удерживания наблюдается у сорбатов, способных проявлять специфические взаимодействия с сорбентом – донорно-

акцепторные (нитрометан, пиридин) и по типу водородных связей (спирты). Рост или падение вклада в удерживание с повышением температуры зависит от размера молекулы сорбата.

Таблица 3. Значения удельных объемов удерживания и вклады $\delta\%$ в удерживание сорбатов при внесении в ПМС-100 10% масс. Acetyl- β -ЦД

№	Сорбат	60°C			100°C		
		$V_{g(\text{ПМС})}^T$	$V_{g(\text{ПМС}+\text{Acetyl}-\beta\text{-ЦД})}^T$	$\delta\%$	$V_{g(\text{ПМС})}^T$	$V_{g(\text{ПМС}+\text{Acetyl}-\beta\text{-ЦД})}^T$	$\delta\%$
1	<i>n</i> -Гексан	80	77	-3.8	25.9	27.1	4.6
2	<i>n</i> -Гептан	201	203	1.0	54.9	60	9.3
3	<i>n</i> -Октан	476	503	5.7	109	124	13.8
4	<i>n</i> -Нонан	922	1081	17.2	218	238	9.2
5	<i>n</i> -Декан	2077	2488	19.8	429	472	10.0
6	Бензол	125	136	8.8	42.0	42.9	2.1
7	Толуол	306	359	17.3	93	109	17.2
8	Этилбензол	674	699	3.7	185	216	16.8
9	<i>n</i> -Ксилол	718	761	6.0	189	223	18.0
10	<i>m</i> -Ксилол	712	749	5.2	187	221	18.2
11	<i>o</i> -Ксилол	959	946	-1.4	212	259	22.2
12	Метанол	21.0	30.1	43.3	8.7	10.8	24.1
13	Этанол	20.7	25.4	22.7	8.2	10.3	25.6
14	Пропанол-1	45.4	89	96.0	15.0	24.9	66.0
15	Пропанол-2	33.5	41.6	24.2	12.7	12.5	-1.6
16	Бутанол-1	161	206	28.0	40.0	60.4	51.0
17	2-Метилпропанол-1	108	135	25.0	30.7	38.7	26.1
18	Пентанол-1	356	474	33.1	86	143	66.3
19	Циклогексан	126	138	9.5	43.8	44.6	1.8
20	1,4-Диоксан	175	185	5.7	56	62	10.7
21	Нитрометан	43.9	98	123.2	17.0	32.5	91.2
22	Метилэтилкетон	67	68	1.5	23.3	25.2	8.2
23	Пиридин	237	286	20.7	68	87	27.9
24	Тetraгидрофуран	88	92	4.5	33.7	32.6	-3.3
25	(-)-Лимонен	-*	-	-	548	577	5.25
26	(+)-Лимонен	-*	-	-	548	551	0.50
27	(-)-Камфен	-*	-	-	305	305	0.20
28	(+)-Камфен	-*	-	-	305	300	-1.54

* Сорбаты не элюировались из колонки при 60 °С.

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что при температуре 100°C δ – вклады для (-)-изомеров лимонена и камфена положительны, тогда как для (+)-изомеров они близки к нулю или даже отрицательны. Это свидетельствует о том, что комплексообразование по типу гость-хозяин для указанных соединений наблюдается преимущественно с (-)-изомерами. Как было показано выше с ростом температуры эта закономерность сохраняется для лимонена, а для камфена нарушается.

Расчитанные на основании линейных зависимостей $\ln V_g^T - 1/T$ величины $\Delta_{sp}U$ и $\Delta_{sp}S'$ для сорбатов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Изменение внутренней энергии и энтропии при сорбции из газовой фазы на колонках с ПМС-100 и бинарной неподвижной фазой ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД

Сорбат	$\ln V_g^T - 1/T$			
	$-\Delta_{sp}U$, Дж/моль		$-\Delta_{sp}S'$, Дж/моль·К	
	ПМС-100	ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД	ПМС-100	ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД
<i>n</i> -Гексан	26.2±1.8	25.9±1.4	43±5	42±4
<i>n</i> -Гептан	30.6±1.7	31.2±1.4	48±4	50±4
<i>n</i> -Октан	34.3±2.4	34.7±1.6	52±6	53±4
<i>n</i> -Нонан	36.9±2.4	34.9±2.3	54±6	48±6
<i>n</i> -Декан	40.2±2.3	36.1±3.7	57±6	45±10
Бензол	26.7±1.7	27.3±1.6	40±4	42
Толуол	31.0±0.9	31.5±1.7	46±2	46±4
Этилбензол	34.0±1.8	32.0±1.6	48±5	42±4
<i>n</i> -Ксилол	34.0±1.7	32.1±1.5	48±4	42±4
<i>m</i> -Ксилол	34.6±1.5	31.8±1.3	49±4	41±4
<i>o</i> -Ксилол	37.3±2.8	32.3±1.8	55±7	41±5
Метанол	21.2±1.8	24.6±1.1	39±5	46±3
Этанол	21.5±1.3	24.0±2	40±3	45±5
Пропанол-1	26.2±1.6	30.7±2	48±4	55±5
Пропанол-2	25.3±1.7	26.4±2	47±3	49±5
2-Метилпропанол-1	28.3±2.1	28.7±1.7	47±5	46±4
Бутанол-1	31.3±2.3	29.4±1.4	52±6	44±4
Пентанол-1	31.8±2.2	28.6±2.3	47±6	35±6
Тетрагидрофуран	25.2±1.4	25.6±1.1	38±4	39±3
Метилэтикетон	24.3±2.0	23.4±1	39±5	35±3
1,4-Диоксан	27.5±2.1	21.6±1.4	40±6	36±4
Пиридин	29.1±2.0	27.7±1.5	42±5	37±4
Нитрометан	21.6±1.7	26.6±1.2	34±4	42±3
Циклогексан	25.9±1.2	26.9±1.7	38±3	40±4
(-)-Камфен	34.3±3.5	31.6±4.0	45±9	38±10
(+)-Камфен	–	31.4±3.4	–	37±8
(-)-Лимонен	39.0±4.2	32.0±7.0	52±10	34±17
(+)-Лимонен	–	31.6±6.5	–	33±16

Из данных, представленных в этой таблице, видно, что для короткоцепочных алканов (C_6 - C_8), бензола, толуола, 2-метилпропанола-1, тетрагидрофурана, метилэтилкетона и циклогексана теплоты и энтропии сорбции на обеих колонках практически совпадают. Различие в величинах δ -вкладов для указанных молекул обусловлено балансом энергетических ($\Delta_{sp}U$) и энтропийных ($\Delta_{sp}S'$) вкладов в величину V_g^T , связанных с влиянием геометрического строения молекул и их конформационного поведения в “чистом” полимере и смешанной фазе на его основе.

С увеличением объема неполярных и малополярных молекул (*n*-алканы C_9 , C_{10} , арены C_8 , камфены, лимонены), а также полярных молекул (*n*-алканола C_4 , C_5) значения теплоты сорбции $\Delta_{sp}U$ на колонке со смешанной неподвижной фазой становятся меньше (примерно на 2-7 кДж/моль), чем на колонке с «чистым» ПМС-

100. По-видимому, это связано с тем, что в исходном ПМС-100 имеют место хорошие корреляции длинных осей молекул с полимерными цепями для осуществления дисперсионных взаимодействий, тогда как в смешанном растворителе, содержащем Acetyl- β -ЦД, молекулы которого имеют форму усеченного конуса, такие корреляции нарушаются, что приводит к уменьшению теплоты сорбции $|\Delta_{sp}U|$. Наблюдаемый при этом прирост удерживания ($\delta > 0$) обусловлен энтропийным фактором – меньшим падением энтропии при переходе сорбата из газовой фазы в смешанную полимерную фазу по сравнению с переходом в “чистый” полимер. Аналогичные закономерности наблюдаются и для 1,4-диоксана и пиридина.

Что касается короткоцепочных спиртов (C_1 - C_3) и нитрометана, то высокие положительные δ – вклады обусловлены повышенной (на 2-5 кДж/моль) теплотой сорбции этих сорбатов смешанной неподвижной фазой в условиях недостаточного падения энтропии при сорбции. Для этих полярных сорбатов увеличение $|\Delta_{sp}U|$ свидетельствует о том, что при образовании комплексов гость-хозяин происходят дополнительные специфические взаимодействия с внешними полярными ацильными группами циклодекстрина.

Для гомологического ряда алканолов наблюдается сложная зависимость теплоты сорбции от длины молекулы спирта, представленная на рисунке 5. Если для колонки с “чистым” ПМС-100 наблюдается рост $|\Delta_{sp}U|$ с увеличением длины молекулы спирта из-за усиления дисперсионных взаимодействий с малополярной неподвижной фазой, то для колонки со смешанным сорбентом зависимость $|\Delta_{sp}U|$ от числа атомов углерода n_C в молекуле имеет максимум при $n_C = 3$. Следовательно, повышение значений теплот сорбции для короткоцепочечных спиртов (C_1 - C_3) обусловлено, в первую очередь, образованием комплексов по типу «гость – хозяин» с макроциклической добавкой, тогда как геометрические размеры n -бутанола не способствуют образованию таких комплексов.

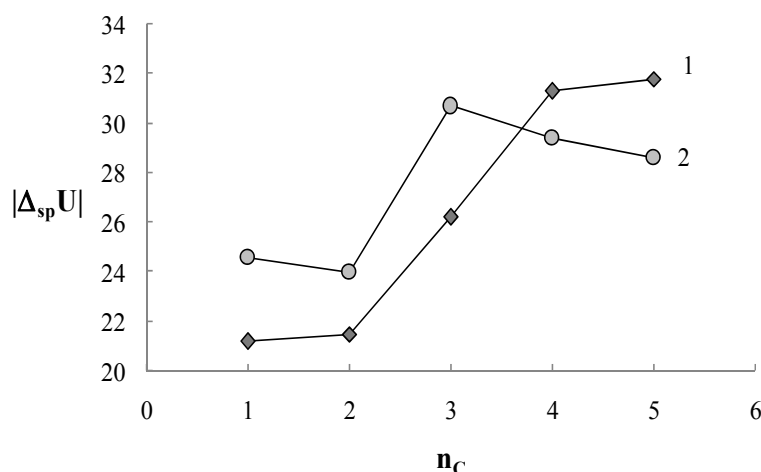


Рис.5. Зависимость теплоты сорбции от числа атомов углерода в молекулах n -алканолов на колонках с ПМС-100 (1) и "ПМС-100 – Acetyl- β -ЦД" (2)

Таким образом, внесение 10% масс. Acetyl- β -ЦД в полимерную фазу способствует усилению межмолекулярных взаимодействий «сорбат – неподвижная фаза» за счет образования комплексов по типу «гость – хозяин» для небольших по

размеру молекул органических соединений. Хиральный макроциклический компонент неподвижной фазы обуславливает умеренные энантиоселективные свойства смешанного сорбента по отношению к изомерам лимонена и камфена.

Работа выполнена при поддержке проекта 02.740.11.0650 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Schurig V., Juza M. Approach to the thermodynamics of enantiomer separation by gas chromatography. // J. Chromatogr. A. 1997. V.757. P.119–135.
2. Mayer S., Schmalzing D., Jung M., Schleimer M. A chiral test mixture for permethylated β -cyclodextrin – polysiloxane gas – liquid chromatography phases: The Schurig test mixture. // LC-GC. 1992. V.10. P.784–785.
3. Aroonsiri Shitangkoon, Jirawit Yanchindaa, Juwadee Shiowatana. Thermodynamic study on the gas chromatographic separation of the enantiomers of aromatic alcohols using heptakis(2,3-di-*O*-methyl-6-*O*-*tert*-butyldimethylsilyl)- β -cyclodextrin as a stationary phase. // J. Chromatogr. A. 2004. V.1049. P.223–226.
4. Suhua Qi, Ping Ai, Cenyi Wang, Liming Yuan, Guangyi Zhang. The characteristics of a mixed stationary phase containing Permethylated-b-CD and Perpentylated-b-CD in gas chromatography. // Separation and Purification Technology. 2006. V.48. P.310–313.
5. S. Tisse, V. Peulon-Agasse, P. Cardina, J.-P. Bouillon, J.-C. Combret. Capillary gas chromatographic properties of three new mono-esterpermethylated β -cyclodextrin derivatives. // Anal. chim. acta. 2006. V.560. P.207–217.
6. Eisuke Takahisa, Karl-Heinz Engel. 2,3-Di-*O*-methoxymethyl-6-*O*-*tert*-butyldimethylsilyl- γ -cyclodextrin: a new class of cyclodextrin derivatives for gas chromatographic separation of enantiomers. // J. Chromatogr. A. 2005. V.1063. P.181–192.
7. Яшин Я.И., Яшин Е.Я., Яшин А.Я. Газовая хроматография. М.: Издательство «ТрансЛит», 2009. – 528 с.
8. Кудряшов С.Ю., Онучак Л.А., Даванков В.А. Физико-химическая интерпретация характеристик удерживания в газовой хроматографии с идеальной сжимаемой подвижной фазой // Журн. физ. хим. 2002. Т.76. №5. С.833–837.
9. Стил Дж.В., Этвуд Дж.Л. Супрамолекулярная химия. М.: ИКЦ "Академкнига", 2007. Т.1. 480с. Т.2. 416с.
10. Колб Б. Газовая хроматография с примерами и иллюстрациями – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2007. – 243 с.

Онучак Людмила Артемовна – д.х.н., профессор, зав.кафедрой, химический факультет, кафедра физической химии и хроматографии, ГОУ ВПО "Самарский государственный университет", Самара, тел.: 3345427

Кураева Юлия Геннадьевна – к.х.н., ассистент, химический факультет, кафедра физической химии и хроматографии, ГОУ ВПО "Самарский государственный университет", Самара

Onuchak Lydmila A. – Prof., Head, Chemistry faculty, department of physical chemistry and chromatography, Samara State University, Samara, e-mail: onuchak@ssu.samara.ru

Kuraeva Yulia G. – assistant, Chemistry faculty, department of physical chemistry and chromatography, Samara State University, Samara, e-mail: kuraeva81@mail.ru

Платонов Владимир Игоревич – аспирант, химический факультет, кафедра физической химии и хроматографии. ГОУ ВПО "Самарский государственный университет", Самара

Чванов Виктор Олегович – студент, химический факультет, кафедра физической химии и хроматографии, ГОУ ВПО "Самарский государственный университет", Самара

Белуsoва Зоя Петровна – к.х.н., доцент, химический факультет, кафедра физической химии и хроматографии, ГОУ ВПО "Самарский государственный университет", Самара

Platonov Vladimir I. – Graduate Student, Chemistry faculty, department of physical chemistry and chromatography, Samara State University, Samara, e-mail: rovvv@yandex.ru

Chvanov Victor O. – student, Chemistry faculty, department of physical chemistry and chromatography, Samara State University, Samara

Belousova Zoya P. – associate professor, Chemistry faculty, department of physical chemistry and chromatography, Samara State University, Samara