

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕТРА(4-*трет*-БУТИЛ-5-ФЕНИЛСУЛЬФАНИЛ)ФТАЛОЦИАНИНА В КИСЛОТНО-ОСНОВНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ОСНОВАНИЯМИ

© 2021 г. О. А. Петров*, Г. В. Осипова, В. Е. Майзлиш, К. А. Аганичева, М. М. Чуркина

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
Россия, 153000 Иваново, просп. Шереметевский, 7
*e-mail: poa@isuct.ru

Поступило в редакцию 29.03.2021 г.

После доработки 05.04.2021 г.

Принята к публикации 10.04.2021 г.

Изучено взаимодействие тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина с циклическими и ациклическими азотсодержащими протонноакцепторными молекулами в бензоле и системе бензол-диметилсульфоксид. Реакция кислотно-основного взаимодействия относится к числу необычно медленных процессов и приводит к образованию устойчивых во времени комплексов с переносом протонов. Рассмотрено изменение реакционной способности тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина в зависимости от полярности среды, протонноакцепторной способности и пространственного строения азотсодержащего основания.

Ключевые слова: тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианин, азотсодержащее основание, диметилсульфоксид, кислотно-основное взаимодействие, реакционная способность, комплексы с переносом протонов

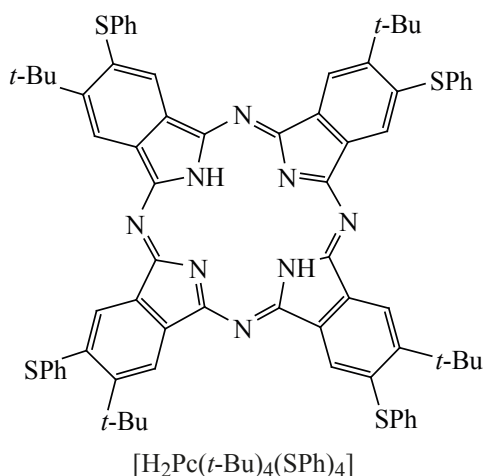
DOI: 10.31857/S051474922109007X

ВВЕДЕНИЕ

Фталоцианины (H_2Pc), благодаря разнообразным возможностям модификации их структуры, – предмет все более пристального внимания исследователей, поскольку наличие четких представлений о взаимосвязи строения и реакционной способности H_2Pc в различных химических процессах создает хорошую базу для использования результатов эксперимента в практических целях. В настоящее время фталоцианины нашли применение в качестве адсорбционно-полупроводниковых датчиков токсических газов, фотосенсибилизаторов, жидкокристаллических и каталитических материалов [1]. Расширить спектр полезных свойств этого класса соединений возможно не только при разработке новых эффективных методов синте-

за H_2Pc , но и благодаря всестороннему изучению их реакционной способности в различных физико-химических процессах. К их числу относятся редко наблюдаемые кинетически контролируемые кислотно-основные взаимодействия, количественные данные о которых до сих пор весьма не многочисленны [2, 3].

В связи с этим в данной работе изучено взаимодействие тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина [$H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$] с азотсодержащими основаниями (В) в бензоле и системе бензол-диметилсульфоксид (DMSO). В качестве В были взяты пиридин, 2-метилпиридин, морфолин (MorPh), пиперидин (Pip), *n*-бутиламин ($BuNH_2$), *трет*-бутиламин *t-BuNH_2*), диэтиламин (Et_2NH) и триэтиламин.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Спектрофотометрические исследования показали, что в среде инертного бензола электронный спектр поглощения (ЭСП) H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ содержит в видимой области расщепленную Q-полосу с $\lambda_I = 720$ и $\lambda_{II} = 689$ нм (D_{2h}-симметрия π -хромфора молекулы). В интервале концентраций $C_{\text{BuNH}_2}^{\circ} = 1.27 - 6.85$ и $C_{\text{Pip}}^{\circ} = 1.26 - 10.12$ моль/л в бензоле в ЭСП H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ не зависимо от природы основания с течением времени регистрируется уменьшение интенсивности Q_x- и Q_y-составляющих Q-полосы с λ_I и λ_{II} соответственно и одновременный рост интенсивности полосы поглощения с $\lambda = 697$ нм (рис. 1). Картина спектральных изменений, сопровождающих реакцию, идентична таковой в ходе кислотно-основного взаимо-

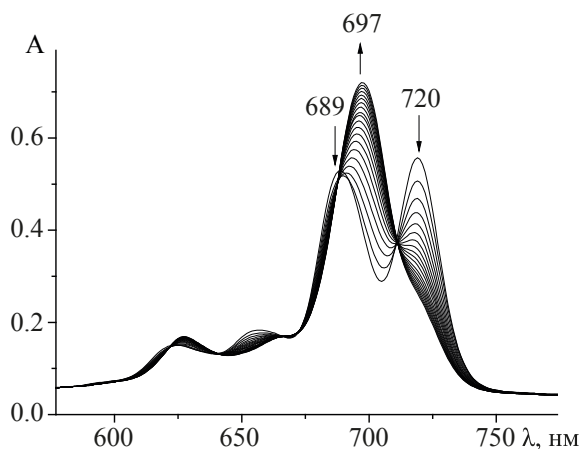


Рис. 1. Изменение электронного спектра поглощения H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ в присутствии *n*-бутиламина в течение 240 мин при 333 К и $C_{\text{BuNH}_2}^{\circ} = 3.17$ моль/л в бензоле

действия нитрозамещенных тетра(*трет*-бутил)-фталочианина [2, 3] и при образовании комплекса ZnPc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ в системе азотсодержащее основание-бензол (рис. 2). Исчезновение расщепления Q-полосы с течением времени, происходящее в результате повышения симметрии π -хромфора молекулы от D_{2h} до D_{4h}, свидетельствует о том, что H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ в присутствии *n*-бутиламина и пиперидина проявляет свойства двухосновной NH-кислоты. Образующиеся при этом комплексы с переносом протонов, в отличие от комплексов образованных с участием β -замещенных порфиразинов [4], не подвергаются распаду с течением времени. На это указывает характер ЭСП H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ в системе *n*-бутиламин (пиперидин)-бензол, который остается без изменений в течение ~ 85 ч при 333 К (рис. 1).

Кинетические исследования показали, что реакция H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ с *n*-бутиламином и пиперидином имеет первый порядок по NH-кислоте (рис. 3) и близкий к единице (в пределах экспериментальной ошибки) – по основанию (рис. 4). Следовательно,

$$k_H = k C_B, \quad (1)$$

и кинетическое уравнение имеет вид:

$$-dC_{\text{H}_2\text{Pc}(t\text{-Bu})_4(\text{SPh})_4}/d\tau = k \cdot C_{\text{H}_2\text{Pc}(t\text{-Bu})_4(\text{SPh})_4} \cdot C_B, \quad (2)$$

где k_H и k – наблюдаемая и истинная константы скорости кислотно-основного взаимодействия соответственно.

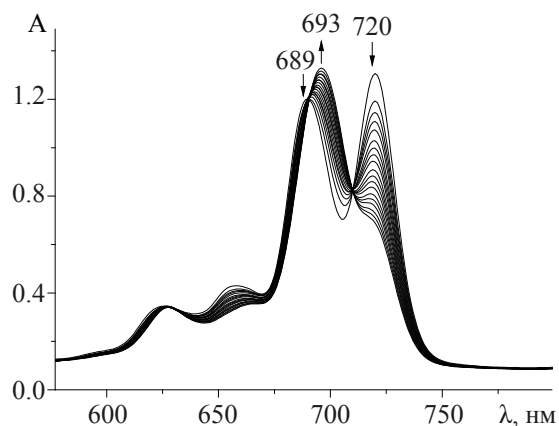


Рис. 2. Изменение электронного спектра поглощения при комплексообразовании H₂Pc(*t*-Bu)₄(SPh)₄ с Zn(OAc)₂ в системе *n*-бутиламин-бензол течение 25 мин при 333 К, $C_{\text{Zn}(\text{OAc})_2}^{\circ} = 1.8 \times 10^{-4}$ моль/л, $C_{\text{BuNH}_2}^{\circ} = 3.17$ моль/л в бензоле

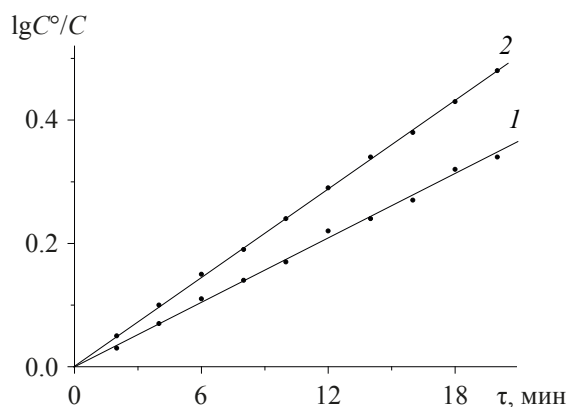
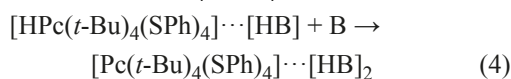
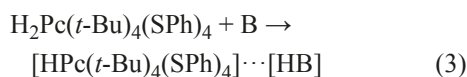


Рис. 3. Зависимости $\lg C^\circ/C$ от времени реакции $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с 1 – $BuNH_2$, 1 – Pip в бензоле при 343 К (1, 2) и $1 - C_{BuNH_2}^\circ = 5.07$, $2 - C_{Pip}^\circ = 6.30$ моль/л в бензоле

Полученные данные указывают на бимолекулярный характер лимитирующей стадии процесса, а повышение симметрии π -хромофора молекулы от D_{2h} до D_{4h} (рис. 1) свидетельствует о том, что перенос протонов от кислоты к основанию осуществляется в две стадии в соответствии со следующей схемой:



Молекула основания вступает во взаимодействие с одним из двух внутрициклических протонов NH-групп $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ и осуществляет его вывод из плоскости макроцикла. При этом ЭСП образующегося промежуточного комплекса – $[HPc(t-Bu)_4(SPh)_4] \cdots [HB]$ должен иметь вид электронного спектра поглощения $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ по числу полос, но расщепление Q-полосы должно уменьшаться за счет гипсохромного смещения ее длинноволновой компоненты Q_x [5]. Однако подобные спектральные изменения в условиях значительного избытка основания в ходе реакции не наблюдаются (рис. 1). Этот факт дает основание полагать, что образование спектрально не регистрируемого комплекса – $[HPc(t-Bu)_4(SPh)_4] \cdots [HB]$ происходит медленнее, чем образование $[Pc(t-Bu)_4(SPh)_4] \cdots [HB]_2$, т.е. $k_1 < k_2$. Поскольку скорость кислотно-основного взаимодействия определялась по уменьшению оптической плотности раствора наиболее интенсивной полосы поглощения Q_x ($\lambda_1 = 720$ нм), то $k_1 = k_H$.

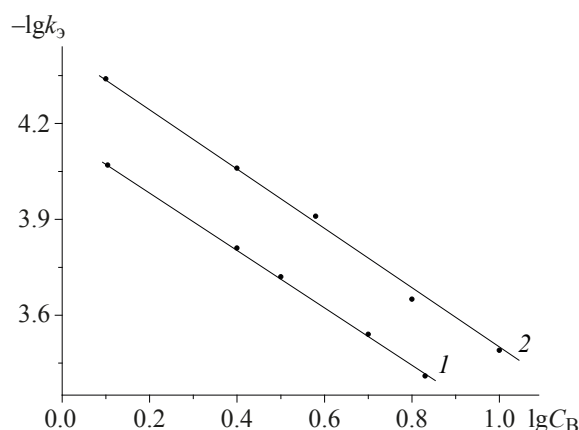


Рис. 4. Зависимости $\lg k_H$ от $\lg C_B$ для реакции $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с 1 – $BuNH_2$ и 2 – Pip при 2 – 333, 1 – 343 К.

Учитывая слабовыраженную кислотность фталоцианинов [6] и сравнительно низкую полярность среды, комплекс с переносом протонов $[Pc(t-Bu)_4(SPh)_4] \cdots [HB]_2$, скорее всего, следует рассматривать как H-ассоциат, в котором делокализованные протоны NH-групп, связанные с двумя внутрициклическими атомами азота и протоноакцепторным центром основания посредством водородных связей, располагаются над и под плоскостью макроцикла [7, 8]. Перенос протонов от $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ к *n*-бутиламину и пиперидину в среде малополярного бензола, приводящий к образованию ион-ионного ассоциата [4] или разделенных растворителем ионных пар с последующей их диссоциацией представляется маловероятным [9]. Следует однако отметить, что вопрос о степени переноса протонов от NH-кислоты к основанию, а также детальный механизм кислотно-основного взаимодействия с участием фталоцианинового макроцикла представляется чрезвычайно сложным и требует дальнейшего углубленного изучения.

Результаты эксперимента (табл. 1) показывают, что взаимодействие $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с основаниями в бензоле характеризуется необычно низкими значениями констант скорости и достаточно высокими значениями E_a процесса, не свойственными для подавляющего большинства относительно простых жидкофазных кислотно-основных систем [9, 10]. Причина этого явления связана с геометрической составляющей фталоцианинового макроцикла, которая изменяется несимбатно электронной. Последняя способствует росту полярности

Таблица 1. Кинетические параметры кислотно-основного взаимодействия тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)-фталоцианина с азотсодержащими основаниями в бензоле, $C_{\text{H}_2\text{Pc}(t\text{-Bu})_4(\text{SPh})_4}^\circ = 1.12 \times 10^{-5}$ моль/л

C_B° , моль/л	T , К ^a	$k_H \times 10^5$, с ⁻¹	$k \times 10^6$, л/(моль·с)	E_a , кДж/моль
<i>n</i> -Бутиламин				
1.27	298	0.15	1.20	75
	323	1.65	13.00	
	333	3.80	30.70	
	343	8.40	68.00	
2.53	298	0.25	1.10	78
	323	2.80	12.08	
	333	6.70	29.00	
	343	15.30	66.50	
3.17	298	0.37	1.30	74
	323	3.80	13.50	
	333	8.70	31.07	
	343	19.00	67.50	
5.07	298	0.53	1.20	77
	323	5.40	12.60	
	333	12.70	29.50	
	343	28.80	67.10	
6.85	298	0.70	1.20	76
	323	7.35	13.00	
	333	17.50	31.08	
	343	38.70	68.50	
Пиперидин				
1.26	298	0.45	3.50	55
	323	2.50	20.00	
	333	4.50	36.00	
	343	8.30	67.10	
2.53	298	0.90	3.75	54
	323	4.95	20.50	
	333	8.55	35.50	
	343	16.15	67.00	
3.80	298	1.20	3.50	56
	323	6.75	19.00	
	333	12.10	34.05	
	343	23.10	65.07	
6.30	298	2.15	3.70	55
	323	12.05	21.00	
	333	22.40	39.00	
	343	40.20	70.05	
10.12	298	2.95	3.20	57
	323	17.55	19.50	
	333	32.45	36.00	
	343	61.20	68.00	

^a Параметры при 298 К рассчитаны по уравнению Аррениуса.

внутрициклических NH-связей за счет электроноакцепторного влияния четырех *мезо*-атомов азота и β, β -аннелированных бензольных колец [6]. В результате этого создаются благоприятные условия для переноса протонов от кислоты к основанию. Напротив, достаточно высокая конформационная жесткость π -системы внутреннего 16-членного контура (C_8N_8) [11] и наличие в бензольных кольцах молекулы *трет*-бутильных и фенилсульфанильных заместителей способствует экранированию атомами и π -электронами внутрициклических протонов NH-групп. Это противодействует благоприятному контакту реакционных центров взаимодействующих молекул и вносит основной вклад в кинетические параметры кислотно-основного взаимодействия.

Из всех изученных циклических оснований максимальной реакционной способностью при взаимодействии с $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ обладает пиперидин ($pK_a^{298} = 11.23$ [12]), – достаточно сильный акцептор протона, обладающий кресловидной конфигурацией молекулы со стерически доступным атомом азота [13]. Введение в пиперидиновый цикл гетероатома кислорода не влияет на пространственное строение амина [14], однако приводит к понижению pK_a^{298} на ~ 2.5 единицы. В результате этого образование комплекса $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с морфолином не происходит. Аналогичная картина наблюдается в случае пиридина ($pK_a^{298} = 5.23$ [12]) и 2-метилпиридина ($pK_a^{298} = 6.00$ [12]). Увеличение числа алкильных заместителей в азотсодержащем основании также препятствует благоприятному контакту реакционных центров взаимодействующих молекул вследствие более сильного пространственного экранирования неподеленной электронной пары атома азота в основании. В отличие от *n*-бутиламина ($pK_a^{298} = 10.60$ [12]) близкие по протоноакцепторной способности – диэтиламин ($pK_a^{298} = 10.93$ [12]) и триэтиламин ($pK_a^{298} = 10.87$ [12]) не вступают во взаимодействие с $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ в бензоле. Наряду с увеличением числа алкильных заместителей, оптимальной пространственной ориентации реакционных центров кислоты и основания противодействует разветвление углеводородной цепи в амине. В отличие от *n*-бутиламина кислотно-основное взаимодействие $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с *трет*-бутиламином ($pK_a^{298} = 10.68$ [12]) не про-

исходит. Аналогичное, но менее сильное влияние пространственно эффекта, судя по величинам k^{298} и E_a (табл. 1), наблюдается при замене пиперидина на *n*-бутиламин.

Дальнейшие исследования показали, что взаимодействие $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с В протекает значительно быстрее при введении в бензол добавок более полярного диметилсульфоксида. При $C_{BuNH_2}^{\circ} > 1.27$ и $C_{pip}^{\circ} > 1.26$ моль/л в системе бензол–5% DMSO расщепление Q-полосы $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ исчезает предельно быстро, причем так, что скорость реакции уже невозможно измерить обычными кинетическими методами. Напротив, взаимодействие $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с морфолином, *трет*-бутиламином и диэтиламином, судя по величинам k^{298} (табл. 2), характеризуется низкими скоростями. Увеличение концентрации DMSO в бензоле от 5 до 20% способствует более быстрому образованию продукта кислотно-основного взаимодействия. При этом кинетическое уравнение (2) не претерпевает изменений при переходе от бензола к системе бензол–DMSO, а значение k^{298} возрастает в $\sim 170, 116$ и 280 раз для морфолина, *трет*-бутиламина и диэтиламина соответственно на фоне существенного уменьшения энергетических затрат процесса (табл. 2). При концентрации DMSO в бензоле в количестве более 20% реакция между $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ и MorPh, *t*-BuNH₂ и Et₂NH проходит практически мгновенно. Пиридин и 2-метилпиридин, обладающие слабовыраженной протоноакцепторной способностью, не образуют комплексы с переносом протонов $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ даже в системах с более высоким содержанием DMSO. Аналогичный факт установлен для триэтиламина. Следовательно, если молекулы-партнеры обладают слабовыраженной протонодонорной и/или протоноакцепторной способностью и имеют при этом пространственно-экранированный реакционный центр, то увеличение полярности среды, во многом определяемой ее диэлектрической проницаемостью [15], не играет ключевой роли в повышении реакционной способности $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ при взаимодействии с основанием.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианин синтезировали по методике [16]. Бензол,

Таблица 2. Кинетические параметры кислотно-основного взаимодействия тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина с азотсодержащими основаниями в системе бензол–DMSO, $C_{\text{H}_2\text{Pc}(t\text{-Bu})_4(\text{SPh})_4}^\circ = 1.12 \times 10^{-5}$ моль/л; $C_{\text{MorPh}}^\circ = 2.30$, $C_{t\text{-BuNH}_2}^\circ = 2.40$, $C_{\text{Et}_2\text{NH}}^\circ = 2.41$ моль/л

Среда	T, K^a	$k_{\text{H}} \times 10^5, \text{c}^{-1}$	$k \times 10^6, \text{л}/(\text{моль} \cdot \text{с})$	$E_{\text{a}}, \text{кДж}/\text{моль}$
Морфолин				
Бензол–5%DMSO	298	0.04	0.18	90
	323	0.75	3.00	
	333	2.00	8.10	
	343	5.40	21.50	
Бензол–10%DMSO	298	0.60	0.28	65
	323	4.50	21.30	
	333	9.45	44.70	
	343	18.40	87.20	
Бензол–20%DMSO	298	6.53	30.80	51
	323	31.85	151.00	
	333	56.70	268.70	
	343	97.50	462.00	
<i>трет</i> -Бутиламин				
Бензол–5%DMSO	298	0.30	1.15	73
	323	2.77	10.15	
	333	6.23	23.77	
	343	13.70	52.30	
Бензол–10%DMSO	298	2.23	8.50	53
	323	11.60	44.27	
	333	21.13	80.60	
	343	37.00	141.20	
Бензол–20%DMSO	298	35.12	134.05	28
	323	84.00	320.60	
	333	115.10	439.30	
	343	155.40	539.13	
Диэтиламин				
Бензол–5%DMSO	298	0.10	0.45	83
	323	1.47	6.40	
	333	3.67	15.95	
	343	9.00	39.10	
Бензол–10%DMSO	298	0.72	3.13	72
	323	6.80	29.56	
	333	15.47	67.26	
	343	32.50	141.30	
Бензол–20%DMSO	298	29.40	127.80	37
	323	94.17	409.40	
	333	145.00	630.40	
	343	210.30	914.30	

^a Параметры при 298 К рассчитаны по уравнению Аррениуса

азотсодержащие основания и диметилсульфоксид (ACROS) использовали без дополнительной очистки. Для проведения кинетических измерений в термостатируемую кювету спектрофотометра SHIMADZU-UV-1800 помещали свежеприготовленный раствор $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ с постоянной концентрацией в бензоле (системе бензол-диметил-сульфоксид) и добавляли переменные количества оснований. Скорость кислотно-основного взаимодействия определяли по уменьшению оптической плотности наиболее интенсивной Q_x -полосы при длине волны $\lambda = 720$ нм (рис. 1). Минимальное значение оптической плотности в конце реакции свидетельствовало об отсутствии в реагирующей системе молекулярной формы $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ и указывало на образование продукта реакции. Различие в максимумах полос поглощения $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ и комплекса с переносом протонов – $[Pc(t-Bu)_4(SPh)_4] \cdots [HB]_2$ позволило определить текущую концентрацию $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$ по формуле (5).

$$C = C^\circ (A_\tau - A_\infty)/(A_0 - A_\infty), \quad (5)$$

где A_0 , A_τ , A_∞ - оптические плотности растворов в начальный момент времени, в момент времени τ и после завершения реакции (τ_∞). C° и C – начальная и текущая концентрации $H_2Pc(t-Bu)_4(SPh)_4$. Все измерения проводили в условиях реакции псевдопервого порядка, поэтому наблюдаемую константу скорости кислотно-основного взаимодействия с *n*-бутиламином, пиперидином, морфолином, диэтиламином и *трет*-бутиламином рассчитывали по формуле (6).

$$k_H = (1/\tau) \lg(C^\circ/C). \quad (6)$$

Точность кинетических параметров оценивалась с помощью обычных методов статистики при доверительном интервале 95%. Использование метода Стьюдента позволило определить относительные ошибки в значениях k_H и E_a , которые составили не более 3 и 5% соответственно.

ВЫВОДЫ

Установлено, что кислотно-основное взаимодействие тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)-фталочиаанина с *n*-бутиламином, пиперидином в бензоле и морфолином, *трет*-бутиламином, диэтиламином в системе бензол–DMSO характеризуется низкими значениями констант скорости и

высокими значениями энергии активации процесса.

Обнаружена высокая кинетическая устойчивость комплексов с переносом протонов тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталочиаанина в системе азотсодержащее основание – бензол (DMSO–бензол).

Показано, что реакционная способность тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталочиаанина при взаимодействии с основанием уменьшается, если молекулы-партнеры обладают слабовыраженной протоноакцепторной способностью и имеют пространственно-экранированный кислотный и/или основной центр.

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при поддержке гранта ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (13-ISUCT-21).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Олег Александрович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3424-7135>

Осипова Галина Вячеславовна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0296-2663>

Майзлиш Владимир Ефимович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5423-3297>

Аганичева Ксения Александровна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4698-176X>

Чуркина Мария Михайловна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0435-2057>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапошников Г.П., Кулинич В.П., Майзлиш В.Е. *Модифицированные фталочиаанины и их структурные аналоги*. М.: Красанд. **2012**, 480.
2. Петров О.А., Прокин Ю.М., Осипова Г.В. *ЖОХ*. **2011**, *81*, 322–326. [Petrov O.A., Prokin Yu.M., Osipova G.V. *Russ. J. Gen. Chem.* **2011**, *81*, 420–424.] doi 10.1134/S107036321102023X
3. Петров О.А., Кузмина Е.Л., Майзлиш В.Е., Родионов А.В. *ЖФХ*. **2014**, *88*, 11–15. [Petrov O.A., Kuzmina E.L., Maizlish V.E., Rodionov A.V. *Russ.*

- J. Phys. Chem. A.* **2014**, *88*, 7–11.] doi 10.1134/S0036024414010208
4. Петров О.А. *ЖФХ.* **2021**, *95*, 549–557. [Petrov O.A. *Russ. J. Phys. Chem. A.* **2021**, *95*, 696–704.] doi 10.1134/S003602442104021X
 5. Stuzhin P.A., Khelevina O.G., Berezin D.B. *Phthalocyanines: Properties and Applications*. Ed. C.C. Lesnoff, A.B.P. Lever. New York: VCH Publ. Inc. **1996**, *4*, 19–47.
 6. Stuzhin P.A. *J. Porphyrins and Phthalocyanines.* **2003**, *7*, 813–832. doi 10.1142/s1088424603001014
 7. Kokareva E.L., Petrov O.A., Khelevina O.G. *Macroheterocycles.* **2009**, *2*, 157–163. doi 10.6060/mhc2009.2.157.
 8. Петров О.А., Аганичева К.А., Гамов Г.А., Киселев А.Н. *ЖФХ.* **2020**, *94*, 1379–1384. [Petrov O.A., Aganicheva K.A., Gamov G.A., Kiselev A.N. *Russ. J. Phys. Chem. A.* **2020**, *94*, 1843–1847.] doi 10.31857/S0044453720090228
 9. *Молекулярные взаимодействия.* Ред. Г. Ратайчака, У. Орвилл-Томаса. М.: Мир. **1984**, *2*, 598.
 10. Zundell G. *Hydrogen Bonds with Large Proton Polarizability and Transfer Processes in Electrochemistry and Biology*. Ed. I. Prigogin, S.F. Rise. New York: Wiley and Sons. Inc. **2000**, 217.
 11. Березин Д.Б. *Макроциклический эффект и структурная химия порфиринов.* М.: Красанд. **2010**, 424.
 12. *Handbook of Chemistry and Physics.* Ed. W.M. Haynes. New York: CRC. **2013**, 2668.
 13. Anet F.A.L., Yavari I. *J. Amer. Chem. Soc.* **1977**, *99*, 2794–2796.
 14. Blackburne I.D., Katritzky A.R., Takeuchi Y. *Accounts Chem. Res.* **1975**, *8*, 300–306.
 15. Райхардт К. *Растворители и эффекты среды в органической химии.* М.: Мир, **1991**. 764.
 16. Майзлиш В.Е., Тихомирова Т.В., Знойко С.А., Александрийский В.В., Вашурин А.С., Шапошников Г.П. *ЖОХ.* **2018**, *88*, 655–661. [Maizlish V.E., Tikhomirova T.V., Znoiko S.A., Aleksandriiskii V.V., Vashurin A.S., Shaposhnikov G.P. *Russ. J. Gen. Chem.* **2018**, *88*, 736–741.] doi 10.1134/S1070363218040187

Reactivity of Tetra(4-*tert*-butyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine in Acid–Base Interaction with Organic Bases

O. A. Petrov*, G. V. Osipova, V. E. Mayzlish, K. A. Aganicheva, and M. M. Churkina

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy prosp., 7, Ivanovo, 153000 Russia

**e-mail: poa@isuct.ru*

Received March 29, 2021; revised April 5, 2021; accepted April 10, 2021

The interaction of tetra(4-*tert*-butyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine with cyclic and acyclic nitrogen-containing proton-accepting molecules in benzene and the benzene-dimethylsulfoxide system has been studied. The reaction of acid-base interaction is one of the unusually slow processes and leads to the formation of stable complexes with proton transfer. The change in tetra(4-*tert*-butyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine reactivity depending on environment polarity, proton acceptor ability and dimensional structures of the nitrogen-containing base has been examined.

Keywords: tetra(4-*tert*-butyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine, nitrogen-containing base, dimethylsulfoxide, acid-base interaction, reactivity, proton transfer complexes