ЖУРНАЛ ОБЩЕЙ ХИМИИ, 2023, том 93, № 6, с. 944–950

УДК 541.572.128

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ОСНОВАНИЙ НА ИХ КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ЦИНКА С ТЕТРА(4-*трет*-БУТИЛ-5-ФЕНИЛСУЛЬФАНИЛ)-ФТАЛОЦИАНИНОМ В БЕНЗОЛЕ

© 2023 г. О. А. Петров[1,*], В. Е. Майзлиш[1]

[1] *Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский пр. 7, Иваново, 153000 Россия*
**e-mail: poa@isuct.ru*

Поступило в редакцию 16 марта 2023 г.
После доработки 26 мая 2023 г.
Принято к печати 26 мая 2023 г.

Изучено влияние циклических и ациклических азотсодержащих органических оснований на образование комплекса цинка с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианином в бензоле. Показано, что кислотно-основное взаимодействие предшествует комплексообразованию и играет в нем ключевую роль. Приведена схема образования комплекса цинка с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианином в системе азотсодержащее основание-бензол. Установлена взаимосвязь между каталитической активностью основания и его протоноакцепторной способностью, а также строением.

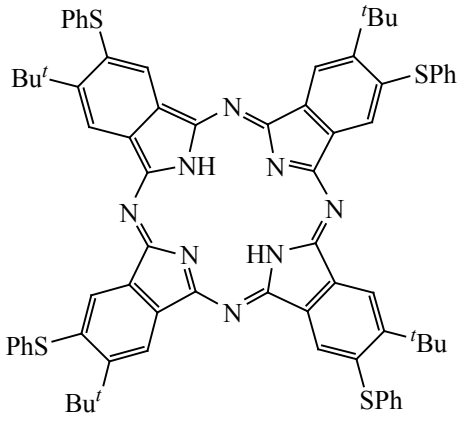
Ключевые слова: тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианин, ацетат цинка, основания, кислотно-основное взаимодействие, катализ, комплексообразование

DOI: 10.31857/S0044460X23060136, **EDN:** FMNSOW

Синтез модифицированных фталоцианинов (H_2Pc) относится к числу наиболее важных направлений химии ароматических макрогетероциклических соединений, поскольку позволяет расширить диапазон их практического применения. В настоящее время известно использование фталоцианинов в качестве полупроводников, жидкокристаллических, каталитических, сенсорных материалов и др. [1–3]. Наряду с разработкой новых эффективных методов синтеза H_2Pc не менее важным является всестороннее изучение их физико-химических свойств. К их числу следует отнести способность H_2P вступать в реакции комплексообразования с солями жизненно необходимых металлов, среди которых ключевую роль во многих ферментативных процессах играет цинк [4]. При этом вхождение катиона цинка в координационный центр фталоцианина (H_2N_4) во многом должно зависеть не только от активности взаимодействующих молекул, но и от протоноакцепторных свойств среды, что немаловажно для более полного понимания условий жидкофазного синтеза металлокомплексов *in vitro*. К настоящему времени изучено влияние азотсодержащих органических оснований на процесс образования комплекса цинка с некоторыми β-замещенными порфиразинами [5]. Количественные данные для фталоцианинов (β,β-тетрабензоаннелированных порфиразинов) до сих пор отсутствуют.

В связи с этим в данной работе впервые изучено влияние добавок морфолина (Morph), пиперидина (Pip), *н*-бутиламина ($BuNH_2$), *трет*-бутиламина

Схема 1.



$H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$

(t-$BuNH_2$), диэтиламина (Et_2NH) и триэтиламина (Et_3N) на реакцию комплексообразования ацетата цинка ($Zn(OAc)_2$) с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина [$H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$] в бензоле (схема 1).

Состояние тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина в системе азотсодержащее основание–бензол. Предварительно установлено, что в инертном малополярном бензоле электронный спектр поглощения (ЭСП) $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ содержит в видимой области две расщепленные Q_x- и Q_y-составляющие Q-полосы с λ_I 720 (lgε 5.02) и λ_{II} 689 нм (lgε 4.89) соответственно, что указывает на D_{2h}-симметрию π-хромофора молекулы (рис. 1). При введении в бензол добавок сильноосновного *н*-бутиламина (или пиперидина) в количестве от 10 до 90% регистрируется батохромное смещение Q_y-полосы от 689 до 698 нм и одновременное уменьшение интенсивности Q_x-полосы с λ_I (рис. 1). Исчезновение расщепления Q-полосы, происходящее в результате повышения симметрии молекулы от D_{2h} до D_{4h}, свидетельствует о том, что $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в присутствии *н*-бутиламина (или пиперидина) проявляет свойства двухосновной NH-кислоты. Образующиеся при этом комплексы с переносом протонов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot 2BuNH_2$ и $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot 2Pip$ не подвергаются распаду с течением времени. На это указывает характер ЭСП $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в системе *н*-бутиламин (пиперидин)–бензол, который остается без изменений в течение ~ 72 ч при 333 K (рис. 1). В этих комплексах протоны NH-групп, связанные с атомом азота молекул $BuNH_2$ (Pip) через водородные связи, находятся над и под плоскостью макроцикла, подобно комплексам, образованным с участим β-замещенных порфиразинов [6]. С одной стороны это обеспечивает благоприятное пространственное расположение молекул основания в комплексе, а с другой – приводит к пространственному экранированию четырех внутрициклических координирующих атомов азота [5]. В результате этого комплексы $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot 2BuNH_2$ и $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot 2Pip$ не вступают во взаимодействие с ацетатом цинка, которое должно сопровождаться гиперхромным эффектом Q-полосы. Основания, обладающие пониженной протоноакцепторной способностью (морфолин) или имеющие достаточно сильно экранированный атом азота алкильными группами (*трет*-бутиламин, диэтиламин, триэтиламин), не образуют вышеуказанные комплексы с переносом протонов [7].

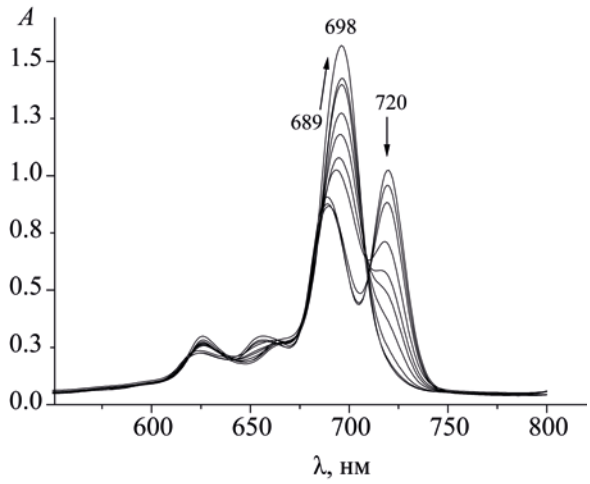


Рис. 1. Изменение электронного спектра поглощения $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ с $c_0[H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4]$ 1.37×10^{-5} моль/л в бензоле с добавками *н*-бутиламина (пиперидина) от 10 до 90% при 298 K.

Каталитическое влияние основания на комплексообразование ацетата цинка с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианином. Спектральные исследования показали, что кинетически контролируемая реакция комплексо-

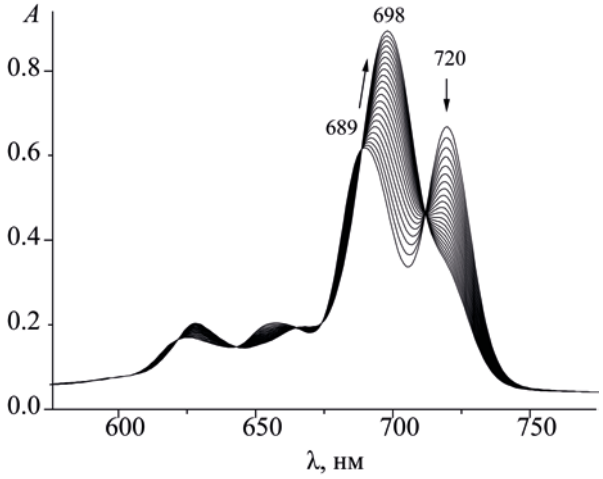


Рис. 2. Изменение электронного спектра поглощения $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в присутствии $Zn(OAc)_2$ в системе *н*-бутиламин–бензол в течение 38 мин при 308 K. $c_0[H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4]$ 1.19×10^{-5} моль/л, $c_0[BuNH_2]$ 0.5 моль/л и $c_0[Zn(OAc)_2]$ 1.25×10^{-4} моль/л в бензоле.

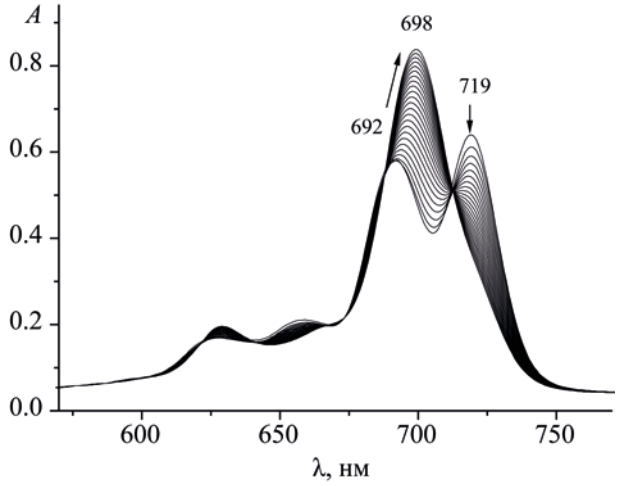


Рис. 3. Изменение электронного спектра поглощения $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в присутствии $Zn(OAc)_2$ в системе морфолин–бензол в течение 20 мин при 333 K. $c_0[H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4]$ 1.19×10^{-5} моль/л, $c_0[Morph]$ 0.51 моль/л и $c_0[Zn(OAc)_2]$ 1.25×10^{-4}моль/л в бензоле.

образования (1) в системе азотсодержащее основание–бензол независимо от природы основания (B) сопровождается батохромным смещением Q_y-полосы и одновременным уменьшением интенсивности Q_x-полосы $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$. При этом наблюдается одновременный рост интенсивности полосы поглощения с λ 698 нм (рис. 2, 3).

$$H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 + Zn(OAc)_2 \xrightarrow{B} ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 + 2HOAc. \quad (1)$$

Исчезновение расщепления Q-полосы, как и в случае образования комплексов с переносом протонов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot2BuNH_2$ $[H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4\cdot2Pip]$ (рис. 1), указывает на депротонирование макроцикла и вхождение иона Zn^{2+} в координационный (H_2N_4) центр $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ с образованием $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$. Выделенный в свободном виде комплекс цинка не подвергается деметаллированию в серной кислоте, в то время как комплексы с переносом протонов (рис. 1) мгновенно распадаются с образованием молекулярной формы тетра-(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина.

Реакция (1) имеет первый порядок по NH-кислоте (рис. 4) и близкий к единице (в пределах экспериментальной ошибки опыта) по основанию (рис. 5) и соли металла (рис. 6).

Следовательно,

$$k_H = k[Zn(OAc)_2]c_B \quad (2)$$

и кинетическое уравнение имеет вид:

$$-dc_1/d\tau = k[Zn(OAc)_2]c_B, \quad (3)$$

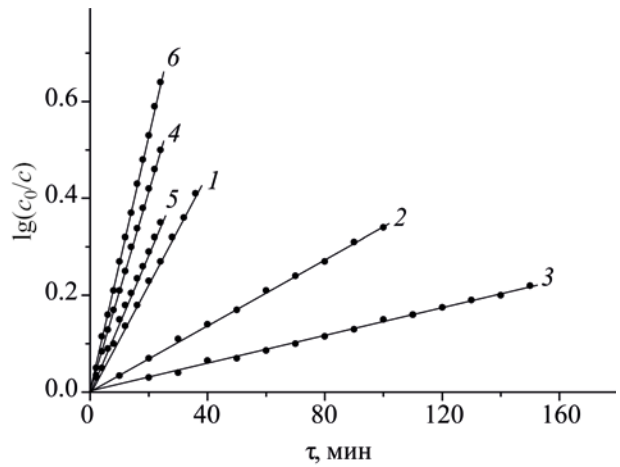


Рис. 4. Зависимости $\lg(c_0/c)$ от времени реакции образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ при концентрациях (моль/л): $c_0[BuNH_2]$ 0.5 (*1*), $c_0[t\text{-}BuNH_2]$ 0.45 (*2*), $c_0[Et_2NH]$ 0.48 (*3*), $c_0[Et_3N]$ 0.51 (*4*), $c_0[Pip]$ 0.52 (*5*), $c_0[Morph]$ 0.47 (*6*) в бензоле при 308 (*1*, *5*), 323 (*3*, *4*) и 333 K (*2*, *6*).

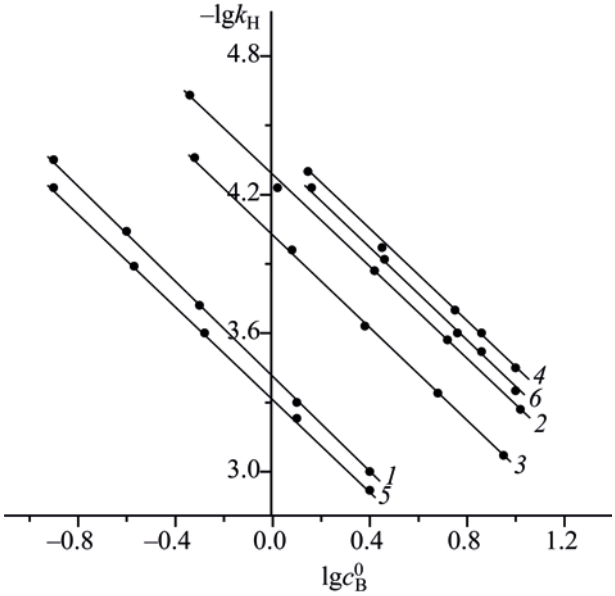


Рис. 4. Зависимости $\lg(c_0/c)$ от времени реакции образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ при концентрациях (моль/л): $c_0[BuNH_2]$ 0.5 (*1*), $c_0[^tBuNH_2]$ 0.45 (*2*), $c_0[Et_2NH]$ 0.48 (*3*), $c_0[Et_3N]$ 0.51 (*4*), c_0[Pip] 0.52 (*5*), c_0[Morph] 0.47 (*6*) в бензоле при 308 (*1*, *5*), 323 (*3*, *4*) и 333 K (*2*, *6*).

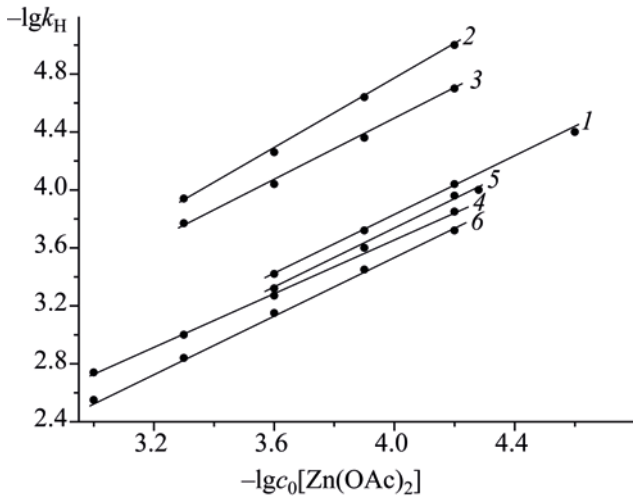


Рис. 6. Зависимости $\lg k_H$ от $\lg c_0[Zn(OAc)_2]$ для реакции образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в бензоле в присутствии $BuNH_2$ (*1*), $t\text{-}BuNH_2$ (*2*), Et_2NH (*3*), Et_3N (*4*), Pip (*5*), Morph (*6*) при $c_0[BuNH_2]$ 0.5 (*1*), $c_0[^tBuNH_2]$ 0.45 (*2*), $c_0[Et_2NH]$ 0.48 (*3*), $c_0[Et_3N]$ 10.05 (*4*), c_0[Pip] 0.52 (*5*), c_0[Morph] 5.78 моль/л (*6*) при 308 (*1*, *5*), 313 (*2*), 323 (*4*) и 333 K (*3*, *6*).

где c_1 – концентрация $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$; B = Morph, Pip, $BuNH_2$, $t\text{-}BuNH_2$, Et_2NH, Et_3N; k_H и k – наблюдаемая и истинная константы скорости образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ соответственно.

Предполагаемый механизм реакции может быть представлен в виде реакций (4), (5).

$$H_2Pc(t\text{-}Bu)_4 + B \xrightarrow{k_1} H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4B, \quad (4)$$

$$H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4B + Zn(OAc)_2 \xrightarrow{k_1} ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 + 2HOAc + B. \quad (5)$$

Судя по уравнению (3), лимитирующей стадией процесса является не тримолекулярный процесс, а бимолекулярное кислотно-основное взаимодействие между $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ и молекулой основания. Образующийся при этом промежуточный комплекс с переносом протонов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4{\cdot}B$ должен иметь электронный спектр поглощения, как и $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ по числу полос, но расщепление Q-полосы должно уменьшаться за счет гипсохромного смещения ее длинноволновой компоненты Q_x [6]. Однако подобные спектральные изменения в условиях значительного избытка основания в ходе реакции не наблюдаются (рис. 2, 3). Этот факт дает основание полагать, что образование спектрально нерегистрируемого кислотно-основного комплекса $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4{\cdot}B$ происходит медленнее, чем образование комплекса цинка с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианином, т. е. $k_1 < k_2$ и $k_1 = k_H$. Предполагается, что в комплексе $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4{\cdot}B$ один из двух внутрициклических протонов NH-групп, связанный с молекулой B, располагается над плоскостью фталоцианинового макроцикла. В результате этого уменьшаются общие энергетические затраты на разрыв связей N–H, что облегчает вхождение иона Zn^{2+} в координационный центр фталоцианиновой молекулы с тыльной стороны.

Увеличение концентрации азотсодержащего основания в бензоле способствует образованию комплекса $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ (рис. 5). При этом скорость и энергия активации процесса достаточ-

Таблица 1. Кинетические параметры образования $ZnPc(Bu^t)_4(SPh)_4$ в системе азотсодержащее основание–бензол[а]

Основание	c^0_B, моль/л	T, K	k_H, $с^{-1}$	k, $л^2/(моль^2 \cdot с)$[б]	E_a, кДж/моль
Морфолин	0.47	298	0.35	0.03	60
		313	1.10	0.08	
		323	2.20	0.17	
		333	4.45	0.34	
Пиперидин	0.52	298	1.70	2.60	31
		308	2.45	3.80	
		318	3.70	5.70	
н-Бутиламин	0.50	298	1.20	3.25	37
		308	1.90	5.15	
		318	3.10	8.40	
трет-Бутиламин	0.45	298	0.11	0.15	39
		313	0.23	0.27	
		323	0.35	0.42	
		333	0.57	0.68	
Диэтиламин	0.48	298	0.06	0.10	45
		313	0.15	0.25	
		323	0.24	0.40	
		333	0.43	0.72	
Триэтиламин	0.51	298	0.67	0.06	54
		313	1.90	0.15	
		323	3.52	0.28	
		333	6.55	0.52	

[а] $c_0[H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4]$ 1.19×10^{-5} моль/л, $c_0[Zn(OAc)_2]$ 1.25×10^{-4} моль/л.
[б] Значения k_H для морфолина, *трет*-бутиламина, диэтиламина и триэтиламина при 298 K рассчитаны по уравнению Аррениуса.

но сильно зависят от природы протоноакцепторной молекулы (табл. 1). Среди циклических оснований максимальное каталитическое влияние на образование $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ оказывает пиперидин (pK_a^{298} 11.23 [8]), который является достаточно сильным акцептором протона и имеет пространственно доступный атом азота в составе молекулы, находящейся в кресловидной конформации [9]. Это облегчает образование комплекса с переносом протонов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot B$ и, как следствие, образование $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$. Замена в пиперидиновом цикле атома углерода на кислород не влияет на пространственное строение амина [10], однако приводит к понижению pK_a на ~ 2.7 единицы. В результате этого при переходе от пиперидина к морфолину (pK_a^{298} 8.50 [8]) значение k^{298} уменьшается в ~ 86 раз, а E_a процесса возрастает в ~2 раза (табл. 1). Для ациклических оснований каталитическая активность B зависит от особенностей его геометрического строения. Так, разветвление углеводородной цепи в амине препятствует оптимальной пространственной ориентации молекул-партнеров на стадии образования $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot B$. При переходе от *н*-бутиламина (pK_a^{298} 10.60 [8]) к близкому по основности *трет*-бутиламину (pK_a^{298} 10.68 [8]) каталитическое действие последнего на образование $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ заметно ослабевает. Значения k^{298} для $BuNH_2$ и $t\text{-}BuNH_2$ различаются в ~ 22 раза. При этом энергия активации процесса не претерпевает изменений (табл. 1). Аналогичное влияние оказывает увеличение числа алкильных заместителей, связанных с атомом азота в амине. Замена *н*-бутиламина на диэтиламин (pK_a^{298} 10.84 [8]), судя по величинам k^{298}, приводит к уменьшению скорости образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в 32 раза на фоне незначительного роста энергии активации процесса. Минимальная каталитическая активность основания на реакцию комплек-

сообразования (1) наблюдается в случае триэтиламина (pK_a^{298} 10.75 [8]). Объемные алкильные заместители существенно экранируют атом азота в Et_3N, что противодействует благоприятному контакту реакционных центров в ходе образования $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot Et_3N$ и вносит основной вклад в кинетику взаимодействия с $Zn(OAc)_2$. В ряду $BuNH_2 \rightarrow Et_2NH \rightarrow Et_3N$ значение k^{298} уменьшается в ~ 54 раза, а E_a процесса возрастает на 17 кДж/моль, несмотря на близкую протоноакцепторную способность этих оснований [8].

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что введению иона цинка в координационный центр тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианина предшествует процесс кислотно-основного взаимодействия, в ходе которого образуются спектрально нерегистрируемые комплексы с переносом протонов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot B$, как и в случае β-замещенных порфиразинов [6]. Эти комплексы реакционноспособны с $Zn(OAc)_2$ в отличие от комплексов $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot 2B$. Впервые установлено, что наряду с увеличением протоноакцепторной способности основания, образованию $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4 \cdot B$ благоприятствует стерическая доступность атома азота в амине, что в итоге облегчает образование цинкового комплекса с тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианином.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Тетра(4-*трет*-бутил-5-фенилсульфанил)фталоцианин синтезировали по методике [11]. Бензол, азотсодержащие основания и безводный ацетат цинка (Acros) использовали без дополнительной очистки. Для проведения кинетических измерений в термостатируемую кювету спектрофотометра Shimadzu-UV-1800 помещали свежеприготовленный раствор $H_2Pc(Bu^t)_4(SPh)_4 \cdot$ с начальной постоянной концентрацией $1.19 \cdot 10^{-5}$ моль/л в бензоле и добавляли ацетат цинка, растворенный в системе бензол–азотсодержащее основание с переменной концентрацией последнего. Скорость реакции комплексообразования определяли по уменьшению оптической плотности наиболее интенсивной Q-полосы при длине волны λ 719 (720) нм (рис. 2, 3). Минимальное значение оптической плотности в конце реакции свидетельствовало об отсутствии в реагирующей системе молекулярной формы $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ и указывало на образование $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$. Различия в максимумах полос поглощения $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ и $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ позволило определить текущую концентрацию $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ по формуле (6)

$$c = c_0 \frac{A_\tau - A_\infty}{A_0 - A_\infty}, \quad (6)$$

где A_0, A_τ, A_∞ – оптические плотности растворов в начальный момент времени, в момент времени τ и после завершения реакции (τ_∞); c_0 и c – начальная и текущая концентрации $H_2Pc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$.

Все измерения проводили в условиях реакции псевдопервого порядка, поэтому наблюдаемую константу скорости образования $ZnPc(t\text{-}Bu)_4(SPh)_4$ в системе азотсодержащее основание–бензол рассчитывали по формуле (7).

$$k_H = \frac{1}{\tau} \log \frac{c}{c_0}. \quad (7)$$

Точность кинетических параметров оценивали 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 4 и7% соответственно.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майзлиш Владимир Ефимович ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5423-3297

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Novakova V., Donzello M.P. Ercolani C., Zimcik P., Stuzhin P.A.* // Coord. Chem. Rev. 2018. Vol. 361. P. 1. doi 10.1016/j. ccr.2018.01.05.
2. *Gounden D.I., Van Zul W.E., Nombona N.* // Coord. Chem. Rev. 2020. Vol. 420. P. 213359. doi 10.1016/j. ccr. 213359

3. *Ibrahim-Ouali M., Dumur M.* // Molecules. 2019. Vol. 24. P. 1412. doi 10.3390/ molecules24071412
4. *Кольман Я., Рем К.-Г.* Наглядная биохимия. М.: Бином, 2011. 469 с.
5. *Петров О.А.* // Изв. АН. Сер. хим. 2022. Т. 71. С. 613; *Petrov O.A.* // Russ. Chem. Bull. 2022. Vol. 71. P. 613. doi 10.1007/S11172-022-34-59-5
6. *Петров О.А.* // ЖФХ. 2021. Т. 95. № 4. С. 549; *Petrov O.A.* // Russ. J. Phys. Chem. (A). 2021. Vol. 95. N 4. P. 696. doi 10.318.57/s004445372104021x.
7. *Петров О.А., Осипова Г.В., Майзлиш В.Е., Аганичева К.А., М.М. Чуркина М.М.* // ЖОрХ. 2021. Т. 57. № 9. С.1281; *Petrov O.A., Osipova G.V., Mayzlish V.E., Aganicheva K.A., Churkina M.M.* // Russ. J. Org. Chem. 2021. Vol. 57. P. 1428. doi 10.1134/ S1070363218040187
8. The Handbook of Chemistry and Physics / Ed. W.M. Haynes. Boca-Raton; London; New York: Taylor and Francis, 2013. 2668 p.
9. *Anet F.A.L., Yavari I.* // J. Am. Chem. Soc. 1977. Vol. 99. P. 2794. doi org/10.1021/ja00450a 064
10. *Blackburne I.D., Katrizky A.R., Takeuchi Y.* // Acc. Chem. Res. 1975. Vol. 8. P. 300.
11. *Майзлиш В.Е., Тихомирова Т.В., Знойко С.А., Александрийский В.В., Вашурин А.С., Шапошников Г.П.* // ЖОХ. 2018. Т. 88. С. 655; *Mayzlish V.E., Tikhomirova T.E., Znoiko S.A., Aleksandriiskii A.A., Vashurin A.S., Shaposhnikov G.P.* // Russ. J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. P. 736. doi 101134/S1070363218040187

Effect of The Nature of Nitrogen-Containing Bases on Their Catalytic Activity in The Reaction of Zinc Complex Formation with Tetra(4-*tert*-butyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine in Benzene

O. A. Petrov[a,*] and V. E. Mayzlish[a]

[a]*Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, 153000 Russia*
**e-mail: poa@isuct.ru*

Received March 16, 2023; revised May 26, 2023; accepted May 26, 2023

The catalytic action of the cyclic and acyclic organic nitrogen bases on the complex formation between zinc and tetra(4-*tert*-buthyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine in benzene was studied. The acid-base interaction was shown to precede the complexation and to play a key role in it. The scheme of complex formation of zinc with tetra(4-*tert*-buthyl-5-phenylsulfanyl)phtalocyanine in the system containing also organic nitrogen base and benzene was given. The relationship between catalytic activity of the base and its ability to accept proton as well as structure was described.

Keywords: tetra(4-*tert*-buthyl-5-phenylsulfanyl)phthalocyanine, zinc acetate, base, acid-base interaction, catalysis, complex formation