

Научная статья

УДК 535.243+661.185.232

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>

Влияние катамина АБ на комплексообразование скандия с пирокатехиновым фиолетовым

Денисова Светлана Александровна¹, Заболотных Светлана Александровна^{1,2}, Голдобина Татьяна Ивановна¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

Аннотация. Рассмотрены закономерности комплексообразования скандия с пирокатехиновым фиолетовым в присутствии катионогенного поверхностно-активного вещества катамина АБ в водных растворах. Определен оптимальный интервал рН комплексообразования скандия с реагентом в системах с катамином АБ и без него. Сняты спектры светопоглощения пирокатехинового фиолетового и его комплексов со скандием в двойной системе и в присутствии катамина АБ при различных значениях рН и концентрации ПАВ. Методами насыщения и изомольярных серий установлено соотношение иона металла и реагента в образующемся комплексе в двойной и тройной системах. Построены градуировочные графики, рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения, методом Бабко определены условные константы устойчивости комплексов скандия с пирокатехиновым фиолетовым.

Ключевые слова: пирокатехиновый фиолетовый; скандий; катамин АБ; спектрофотометрия; комплексообразование.

Для цитирования: Денисова С.А., Заболотных С.А., Голдобина Т.И. Влияние катамина АБ на комплексообразование скандия с пирокатехиновым фиолетовым// Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 4. С. 221–230. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>

The influence of catamine AB on complexation scandium with pyrocatechin violet

Svetlana A. Denisova¹, Svetlana A. Zabolotnykh^{1,2}, Tatyana I. Goldobina¹

¹Perm State University, Perm, Russia

²Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract. Regularities of the complex formation of scandium with catechol violet in the presence of the cationic surfactant catamine AB in aqueous solutions are considered. The optimum pH interval of scandium complexation with the reagent in systems with and without catamine AB has been determined. The absorption spectra of pyrocatechin violet and its complexes with scandium in the double system and in the catamine AB presence at different pH values and surfactant concentrations were taken. The ratio of metal ion and reagent in the forming complex in double and triple systems has been established by methods of saturation and isomolar series. Calibration graphs were constructed, molar light absorption coefficients were calculated, and conditional stability constants of scandium complexes with pyrocatechin violet were determined by the Babko method.

Key words: pyrocatechin violet; scandium; catamine AB; spectrophotometry; complexation

For citation: Denisova, S.A., Zabolotnykh, S.A. and Goldobina, T.I. (2022) “The influence of catamine AB on complexation scandium with pyrocatechin violet”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 4, pp. 221–230. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>.



Введение поверхностно-активных веществ может приводить к улучшению оптических характеристик цветных реакций ионов металлов с органическими красителями. При этом может почти полностью устраняться влияние светопоглощения самих реагентов за счет высокой контрастности $\Delta\lambda = 100\text{--}200$ нм, резко возрастает чувствительность определений $\varepsilon = (1\text{--}2,5) \cdot 10^5$. Наличие узких, хорошо разрешенных полос светопоглощения продуктов реакции обеспечивает высокую точность определений [1]. Рядом авторов [2, 3] показано, что в присутствии ПАВ увеличивается координационное число комплексообразователя, а иногда катионы ПАВ входят в состав комплексов, замещая молекулы воды. Следовательно, изучение химизма процессов взаимодействия в системах ионы металлов – органический реагент – ПАВ и выявление причин их протекания имеет не только научное, но и большое практическое значение.

В присутствии ПАВ наблюдается характерное изменение спектров реагентов и их комплексов с ионами металлов, характеризующееся батохромным смещением длины волны максимального светопоглощения и гиперхромным эффектом длинноволновой полосы поглощения, что свидетельствует о взаимодействии компонентов. Изучение влияния ПАВ разной концентрации на такое взаимодействие показало, что указанные эффекты наблюдаются при концентрациях ПАВ значительно ниже предела растворимости (так называемой *критической концентрации мицеллообразования* или *ККМ*). По мере увеличения концентрации ПАВ до ККМ и более эффекты, связанные с изменением спектра реагентов, убывают. На основании

этого авторы работы [4] делают заключение о том, что батохромное смещение спектров поглощения реагентов обусловлено действием не мицелл, а отдельных молекул ПАВ. Мицеллы же в ряде случаев разрушают окраску продуктов взаимодействия из-за блокирования реакционных центров реагентов.

Действие ионов ПАВ на аналитические системы и процессы основано на нескольких принципах. Как правило, его связывают с образованием в растворе нейтральных гидрофобно-гидратированных ионных ассоциатов реагент (хелат) – ПАВ. Именно изменение преимущественно гидрофильного типа гидратации как реагента, так и иона металла на гидрофобный при образовании хелатного ассоциата является причиной увеличения чувствительности и селективности определений и лежит в основе механизма действия ионов ПАВ на аналитические фотометрические реакции. В работе [5] показано, что в присутствии КПАВ наблюдается увеличение числа координируемых ионом металла лигандов; сдвиг интервала рН комплексообразования в более кислую область; увеличение устойчивости хелатов в водном растворе; многоцентровое взаимодействие в системе $\text{Me}\text{--}\text{R}\text{--}\text{ПАВ}$.

Литературные данные по комплексообразованию в системах ион металла – хромофорный органический реагент – азотсодержащий лиганд свидетельствуют о том, что длинноцепочечные четвертичные аммониевые и пиридиновые основания являются эффективными модификаторами таких систем. Большинство накопленных к настоящему времени данных по изучению влияния КПАВ на растворы хромофорных реагентов касается использования индивидуальных ПАВ: хлоридов и бромидов цетилпи-

ридиния (ЦП), цетилтриметиламмония (ЦТА) и других [6–8]. Например, добавление соли цетилпиридиния приводит к батохромному смещению полосы поглощения комплекса алюминия с пирокатехиновым фиолетовым (ПКФ) ($\Delta\lambda = 150$ нм) с одновременным ростом оптической плотности ($\epsilon = 6,5 \cdot 10^4$) [9]. Однако в последние годы установлено, что для модифицирования цветных реакций с некоторыми органическими красителями (хромазуолом S, эриохромцианином R, ксиленоловым оранжевым) можно использовать промышленно-выпускаемое КПАВ – катамин АБ [10–12], так же относящееся к четвертичным аммониевым основаниям. Пирокатехиновый фиолетовый в присутствии ЦП образует с ионами металлов третьей группы периодической системы интенсивно окрашенные в синий цвет комплексы [9]. Поэтому целью данной работы является изучение закономерностей комплексообразования пирокатехинового фиолетового с ионами скандия в присутствии катамина АБ.

Объекты и методы исследования

В работе использовали алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ, ТУ 9392-113-68194079-2016) – катионное поверхностно-активное вещество, общая формула $[C_nH_{2n+1}N^+(CH_3)_2CH_2C_6H_5]Cl$, где $n = 10–18$, основное вещество – 50,0%. Раствор с концентрацией 1,3 моль/л готовили растворением точной навески, растворы с содержанием КПАВ 0,13, 0,013 и 0,0013 моль/л готовили соответствующим разбавлением.

Пирокатехиновый фиолетовый (ПКФ, $C_{19}H_{14}O_7S$, 386,38 г/моль), использовали в виде 0,03% ($9,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л) водного раствора.

Раствор Sc(III) с концентрацией 0,1 моль/л готовили, растворяя навеску нитрата скандия

$Sc(NO_3)_3$ квалификации ч.д.а. в 0,1 моль/л азотной кислоты. Концентрацию полученного раствора устанавливали комплексометрически. Растворы $7 \cdot 10^{-3}$, $7 \cdot 10^{-4}$ моль/л получали соответствующим разбавлением.

Ацетатно-аммиачные буферные растворы с различными значениями pH готовили смешением соответствующих объемов 5 моль/л растворов уксусной кислоты и аммиака.

Для выяснения оптимального интервала pH комплексообразования на спектрофотометре СФ-2000 в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см регистрировали спектры светопоглощения водных растворов красителя и его комплексов со скандием при различных значениях pH в присутствии ПАВ и без него. Для этого в мерные колбы на 25 мл вводили 4 мл $9,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с выбранным значением pH и 0,5 мл 314,7 мкг/мл раствора Sc(III). При изучении комплексообразования в присутствии ПАВ вводили 1 мл раствора катамина АБ с различной концентрацией.

Коэффициенты молярного светопоглощения (ϵ) систем рассчитывались по градуировочным графикам. В мерные колбы на 25 мл вносили 4 мл $9,3 \cdot 10^{-4}$ моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с pH 5,80, соответствующее количество раствора скандия (от 0,25 до 3,5 мл) с концентрацией 62,94 мкг/мл, 1 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки. Полученные растворы фотометрировали через 20 минут после сливания на фоне реагента в кюветах на 1 см, на спектрофотометре ЮНИКО 1201.

Для определения констант устойчивости комплекса скандия с ПКФ в двойной системе в мерную колбу на 25 мл вводили 1,8 мл $9,3 \cdot 10^{-4}$

моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с рН 5,80, 2,4 мл 62,94 мкг/мл раствора скандия и доводили до метки дистиллированной водой.

В случае тройной системы в мерную колбу на 25 мл вводили 2,7 мл раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора рН 5,80, 1,8 мл того же раствора ионов скандия, 1 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили до метки дистиллированной водой. Затем брали аликвоту полученного раствора и разбавляли в мерных колбах на 25 мл в 2 и 5 раз. Фотометрировали исходный раствор в кювете толщиной 1 см, разбавленный в 2 раза раствор – в кювете толщиной 2 см, разбавленный в 5 раз – 5 см при 614 нм (без ПАВ) и 650 нм (с ПАВ) на фоне воды.

Расчет условных констант устойчивости комплекса вели методом разбавления Бабко по формулам:

$$\beta'_{MR_n} = \frac{\left(\frac{1}{q^{n+1} - 1} \right)^{n+1} \frac{\Delta}{100}}{C_M^n n^n}, \quad \Delta = \frac{A - A_q}{A},$$

где q – разбавление, n – стехиометрический коэффициент, C_M – концентрация металла в растворе, Δ – отклонение от основного закона светопоглощения вследствие диссоциации комплекса, A и A_q – оптические плотности исходного и разбавленного растворов [13].

Результаты и их обсуждение

По результатам визуальной оценки изменения окраски раствора ПКФ и его комплексов с ионами скандия при различных значениях рН установлено, что наибольшая контрастность в системе ПКФ – Sc наблюдается в области рН, близкой к 6,0. Введение катамина АБ приводит к увеличению контрастности в окраске ком-

плексов и красителя в интервале рН 5,80–6,80. В более кислой среде комплексообразование практически отсутствует и окраска ПКФ и его растворов в присутствии скандия практически одинакова как при введении катамина АБ, так и без него.

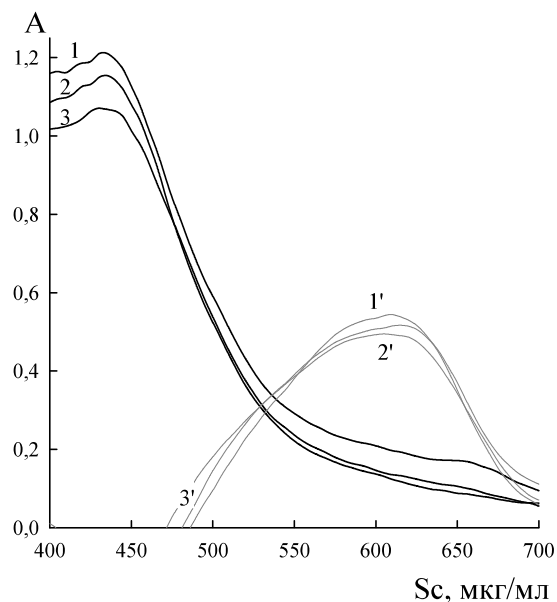


Рис. 1. Спектры поглощения водных растворов ПКФ (1–3, на фоне воды) и его комплексов со Sc(III) (1'–3', на фоне реагента) при различных рН: 1, 1' – 5,80; 2, 2' – 5,09; 3, 3' – 6,35

При различных значениях рН сняты спектры светопоглощения ПКФ и его комплексов с ионами скандия в двойной системе (рис. 1). На спектрах поглощения растворов ПКФ в интервале рН 5,80–6,35 наблюдается один максимум в области 430–433 нм. Оптические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием, снятых на фоне красителя при различных значениях рН представлены в табл. 1. Исследования показали, что оптимальные условия для комплексообразования ПКФ со скандием в двойной системе находятся в интервале рН 6,0–6,4, λ_{\max} наблюдается при 604–614 нм. Контрастность реакции составляет 180–190 нм.

Таблица 1

Спектрофотометрические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от рН
($C_{ПКФ} = 1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{Sc} = 1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Система	ПКФ		ПКФ – Sc			
	на фоне воды		на фоне реагента			
рН	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$
5,09	434,0	1,1566	604,0	0,6235	604,0	0,4947
5,80	430,9	1,1075	610,5	0,6115	610,5	0,4524
6,06	434,0	1,1664	611,1	0,7385	624,1	0,5517
6,35	433,0	1,2134	593,1	0,7104	614,1	0,5468
6,41	433,0	1,1815	593,1	0,7424	614,1	0,5540

Оптические характеристики комплексов скандия с ПКФ, полученные в присутствии катамина АБ (рис. 2, табл. 2), свидетельствуют о bathochromных сдвигах λ_{\max} комплексов, увеличивающих контрастность реакции до 234 нм (при рН 5,80). При рН 5,09 окраска комплекса не отличается от окраски красителя. Почти двукратное увеличение светопоглощения комплекса по сравнению с двойной системой наблюдается при рН 5,80. В связи с этим дальнейшие исследования проводили в присутствии 3 мл ацетатно-аммиачной буферной смеси с рН 5,80.

Известно, что на спектрофотометрические реакции существенное влияние оказывает количество введенного ПАВ. Как видно из табл. 3, при рН 5,80 в присутствии различных концентраций катамина АБ также присутствует максимум светопоглощения в интервале 430–433 нм. С увеличением концентрации катамина

АБ интенсивность светопоглощения реагента уменьшается.

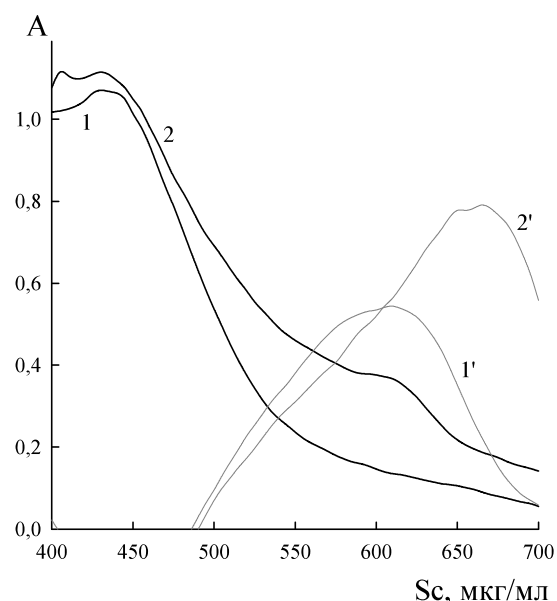


Рис. 2. Спектры поглощения водных растворов ПКФ (1 и 2, на фоне воды) и его комплексов со Sc(III) (1' и 2', на фоне реагента) при рН = 5,80:

1, 1' – без катамина АБ;

2, 2' – $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л катамина АБ

Таблица 2

Оптические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в присутствии катамина АБ при различных значениях рН ($C_{ПКФ} = 1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{Sc} = 1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Система	ПКФ – катамин АБ		ПКФ – Sc – катамин АБ			
	на фоне воды		на фоне реагента и ПАВ			
рН	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	λ_{\max} , нм	$A_{\lambda_{\max}}$
5,09	396,8	1,2927	433,2	1,2078	-	-
5,80	433,0	1,2761	651,0	1,2235	667,1	1,0598
6,06	427,0	1,2691	629,1	1,0390	651,2	0,7688
6,35	430,0	1,5188	641,1	0,9789	653,2	0,5005
6,41	402,0	1,2855	640,1	1,0204	655,2	0,6958
6,80	611,5	0,8338	646,4	1,1094	664,4	0,6832
8,05	609,0	1,2015	629,3	1,2895	665,3	0,6958

Сравнительный анализ спектров поглощения ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от концентрации катамина АБ показал, что наиболее высокая интенсивность светопоглощения комплексов, снятых на фоне красителя, наблюдается при концентрации ПАВ $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Введение катамина АБ в растворы ПКФ и его комплексов со скандием не

сопровождается выделением осадков и помутнением растворов.

В присутствии даже невысоких концентраций катамина АБ на спектрах светопоглощения комплексов наблюдаются bathochromные сдвиги, при этом максимальное смещение λ_{\max} также происходит при концентрации ПАВ $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

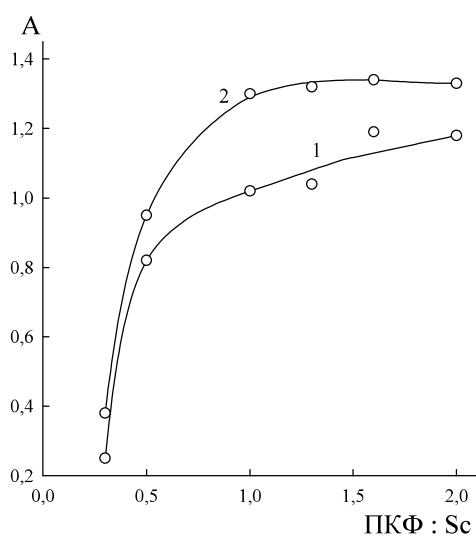
Таблица 3

Спектрофотометрические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от концентрации катамина АБ ($C_{\text{ПКФ}}=1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $C_{\text{Sc}}=1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л; pH 5,80)

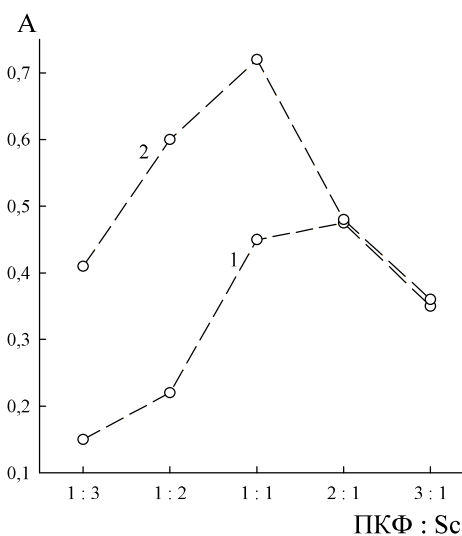
Система $C_{\text{Кат}}, \text{ моль/л}$	ПКФ – катамин АБ		ПКФ –Sc –катамин АБ			
	на фоне воды				на фоне реагента	
	$\lambda_{\max}, \text{ нм}$	$A_{\lambda_{\max}}$	$\lambda_{\max}, \text{ нм}$	$A_{\lambda_{\max}}$	$\lambda_{\max}, \text{ нм}$	$A_{\lambda_{\max}}$
$5,2 \cdot 10^{-2}$	432,0	1,1793	626,5	0,8179	640,5	0,5581
$5,2 \cdot 10^{-3}$	433,0	1,2761	651,0	1,2235	667,1	1,0252
$2,6 \cdot 10^{-3}$	433,8	1,3874	650,0	1,2335	653,0	0,8080
$5,2 \cdot 10^{-4}$	434,0	1,7300	659,0	0,9935	668,0	0,9775
$5,2 \cdot 10^{-5}$	433,0	1,2949	617,0	0,7315	623,2	0,7292
без катамина АБ	430,9	1,1075	610,5	0,6115	610,5	0,4524

При pH 5,80 и $C_{\text{кат}} = 5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л изучено развитие окраски комплексов скандия с ПКФ во времени в двойной системе и в присутствии катамина АБ. Установлено, что значения оптической плотности как двойных, так и тройных комплексов достигают максимума и остаются

стабильными через 30 минут после сливания компонентов. Для изучения закономерностей комплексообразования методами насыщения и изомолярных серий (рис. 3) установлены соотношения ПКФ :Sc в двойной системе и в присутствии катамина АБ.



а



б

Рис. 3. Определение соотношения ПКФ : Sc методом насыщения (а) и изомолярных серий (б):

1 – без катамина АБ, 2 – $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л катамина АБ

Согласно полученным данным комплексообразование скандия с ПКФ при $\text{pH} = 5,80$ в двойной системе происходит ступенчато, образуются комплексы состава $\text{Sc}:\text{ПКФ}$ с соотношением 1:1 и 1:2. При нахождении соотношения $\text{Sc} : \text{ПКФ}$ в тройных комплексах концентрацию катамина АБ поддерживали постоянной – $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л. При изучении комплексообразования в присутствии ПАВ оба метода показали на соотношение $\text{Sc} : \text{ПКФ}$ в комплексах 1:1.

При оптимальных условиях для каждой системы построены градуировочные графики (рис. 4). Соответствующие уравнения прямых, полученные методом наименьших квадратов [14], представлены в табл. 4.

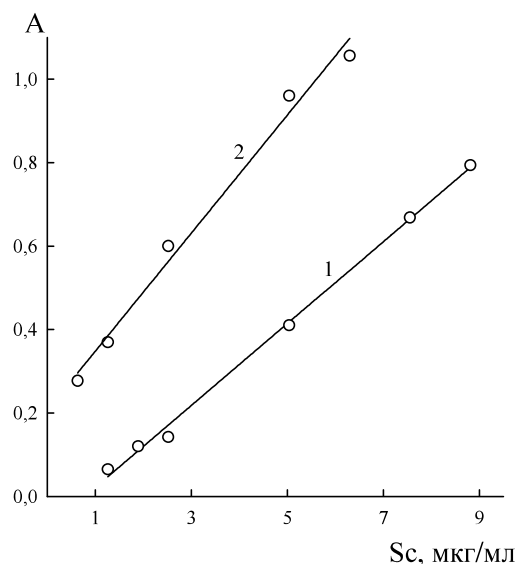


Рис. 4. Градуировочные графики:
1 – без катамина АБ, 2 – $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л катамина АБ
($C_{\text{ПКФ}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $\lambda_1 = 614$ нм, $\lambda_2 = 650$ нм.)

Таблица 4

Оптические характеристики комплексов систем ПКФ – Sc и ПКФ – Sc – катамин АБ

Система	λ , нм	Sc:ПКФ	Уравнение градуировочного графика	R^2	ε	β'
ПКФ – Sc	614	1 : 2	$A = 0,0985 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0754$	0,9961	$4,85 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^6$
ПКФ – Sc – катамин АБ	650	1 : 1	$A = 0,142 \cdot C_{\text{Sc}} + 0,2098$	0,9889	$1,55 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{10}$

По градуировочным графикам рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения комплексов в двойной и тройной системах. Методом Бабко определены условные константы устойчивости комплексов. Результаты расчетов коэффициентов молярного светопоглощения ε и констант устойчивости комплексов скандия с ПКФ обобщены в табл. 4.

Заключение

Проведенные исследования показали, что введение катамина АБ в любых концентрациях в систему Sc – ПКФ положительно влияет на оптические характеристики образующихся комплексов. На спектрах комплексов ионов скандия с ПКФ в присутствии КПАВ наблюдается батохромный сдвиг максимума

светопоглощения, увеличивающий контрастность реакции от 180–190 нм до 234 нм. В двойной системе обнаружены комплексы с соотношением $\text{Sc}:\text{ПКФ} = 1:1$ и $1:2$, в присутствии катамина АБ образуется комплекс с соотношением компонентов 1:1, обладающий более высокими значениями константы устойчивости и молярного коэффициента светопоглощения, в сравнении с двойной системой. Оптимальный интервал pH комплексообразования Sc с ПКФ в двойной системе лежит в области 6,0–6,4, в присутствии катамина АБ комплексообразование незначительно смещается в более кислую область – до 5,7–5,9. Максимальное улучшение спектрофотометрических характеристик происходит при концентрации ПАВ $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Список источников

1. Саввин С.Б., Маров И.Н., Чернова Р.К., Штыков С.Н., Соколов А.Б. Электростатические и гидрофобные эффекты при образовании ассоциатов органических реагентов с катионными ПАВ // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 5. С. 850–859.
2. Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества и их применение // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1959. Т. 4, № 5. С. 544–555.
3. Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыкова Л.С. Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 7. С. 732–733.
4. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ в системах органический реагент – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480.
5. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.
6. Альбота Л.А. Влияние поверхностно-активных веществ на 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол // Журнал аналитической химии. 1985. Т. 40, № 6. С. 978–984.
7. Иванов В.М., Кочелаева Г.А. Пирокатехиновый фиолетовый в спектрофотометрических и новых оптических методах // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 3. С. 283–296.
8. Смирнова Т.Д., Чернова Р.К., Штыков С.Н. Синтез и изучение физико-химических свойств комплекса германия (IV) с пирокатехиновым фиолетовым и хлоридом цетилпиридиния // Журнал неорганической химии. 1983. Т. 28, № 11. С. 2814–2824.
9. Тихонова В.Н., Павлова О.К. Трехкомпонентные комплексы алюминия, галлия, индия, скандия, тория с пирокатехиновым фиолетовым и цетилтриметиламмонием // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 10. С. 1809–1815.
10. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние ПАВ различной природы на спектрофотометрические характеристики комплексов лантана с арсеназо III // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, вып. 4. С. 412–419.
11. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние катамина АБ на комплексообразование лантана и тулия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, вып. 1. С. 28–38.
12. Драчев А.М., Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование эриохромцианина R_c ионами алюминия и железа (III) в присутствии ПАВ // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 2. С. 114–125.
13. Бабко А.К., Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В., Рябушко О.П. Физико-химические методы анализа. М.: Высшая школа, 1968. 335 с.
14. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

Информация об авторах

Денисова Светлана Александровна, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), <https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>, sw.denisova@yandex.ru

Заболотных Светлана Александровна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15); научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, «Институт технической химии УрО РАН» (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), <https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>, zabolotsveta@mail.ru

Голдобина Татьяна Ивановна, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 10 ноября 2022 г; одобрена 1 декабря 2022 г; принята к публикации 7 декабря 2022 г.

References

1. Savvin, S.B., Marov, I.N., Chernova, R.K., Shtykov, S.N. and Sokolov, A.B. (1981) Electrostatic and hydrophobic effects in the formation of associates of organic reagents with cationic surfactants, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 5, pp. 850–859 (In Russ.).
2. Rehbinder, P.A. (1959) Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i ikh primeneniye [Surface-active substances and their application], *Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*, vol. 4, no. 5, pp. 544–555.
3. Shtykov, S.N., Goryacheva, I. Yu. and Shtykova, L.S. (2003) “Micelles and microemulsions in seprstion and preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 58, no. 7, pp. 732–733 (In Russ.).
4. Savvin, S.B., Chernova, R.K., and Belousova, V.V. (1978) O the mechanism of action of cationic surfactants in the systems of organic reagent – metal ion – surfactant, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp.1473–1480 (In Russ.).
5. Stykov, S.N. (2000), “Surfactants in analysis: Progress and development trends”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 55, no. 7, pp. 679–686 (In Russ.).
6. Albota, L.A. (1985) Effect of surfactants on 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 40, no. 6, pp. 978–984 (In Russ.).
7. Ivanov, V.M. and Kochelayeva, G.A. (2006) “Pyrocatechol violet in spectrophotometric and novel optical methods”, *Russian Chemical Reviews*, vol. 75, no. 3, pp. 255–266 (In Russ.).
8. Smirnova, T.D., Chernova, R.K. and Shtykov, S.N. (1983) Synthesis and study of physical and chemical properties of germanium (IV) complex with pyrocatechin violet and cetylpyridinium chloride, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 28, no. 11, pp. 2814–2824 (In Russ.).

9. Tikhonova, V.N. and Pavlova, O.K. Tricomponent complexes of aluminum, gallium, indium, scandium, and thorium with pyrocatechin violet and cetyltrimethylammonium, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 37, no. 10, pp. 1809–1815 (In Russ.).

10. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018) “Influence of various nature surfactants on spectrophotometric characteristics of the lanthan complex with arsenazo III”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 4, pp.412–419 (In Russ.).

11. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of surfactant different nature on spectrophotometric characteristics of the scandium complex with xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp.28–38 (In Russ.).

12. Drachev, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2021) “Chemistry complexation of eriochromcyanine R with aluminum and iron (III) ions in the presence of surfactants”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 11, no. 2, pp.114–125 (In Russ.).

13. Babko, A.K., Pilipenko, A.T., Pyatnitsky, I.V. and Ryabushko, O.P. (1968) *Fiziko-khimicheskiye metody analiza* [Physico-chemical methods of analysis], High School, Moscow (In Russ.).

14. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance to photometric methods analysis], Chimia, Leningrad (In Russ.).

Information about the authors

Svetlana A. Denisova, Candidate of Chemistry Sciences, Associate professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990), <https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>, sw.denisova@yandex.ru

Svetlana A. Zabolotnykh, Candidate of Chemistry Sciences, Senior lecturer, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990); Researcher, Laboratory of organic complexing reagents, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Koroleva str., Perm, Russia, 614013), <https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>, zabolotsveta@mail.ru

Tatiana I. Goldobina, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990).

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 10 November 2022; approved after reviewing 1 December 2022; accepted 7 December 2022.