

УДК 543.432;546.682;541.182.6.

## КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ИОНОВ ИНДИЯ С ФЕНИЛФЛУОРОНОМ В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Л. А. Альбота, Р. Б. Гуцуляк

Для повышения чувствительности и контрастности фотометрических реакций было предложено вводить в растворы комплексных соединений ионов металлов с органическими лигандами длинноцепочечные четвертичные аммониевые соли [1, 2]. Авторы работы [1] считают, что электрофильность четвертичных аммониевых групп катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ) способствует диссоциации гидроксильных групп красителя, входящего в состав комплексного соединения. Взаимодействие появившихся отрицательно заряженных атомов кислорода с мицеллами КПАВ, по их мнению, может вызвать батохромный сдвиг и значительный рост максимумов светопоглощения растворов комплексов. Согласно второму предположению о причинах изменения спектрофотометрических свойств растворов комплексов при добавлении КПАВ, изменения вызваны образованием ионных ассоциатов катионами КПАВ с отрицательно заряженными атомами кислорода органического реагента, входящего в состав комплексного соединения. В работе [2] эти же авторы объясняют изменение цвета растворов системы алюминий — пирокатехиновый фиолетовый (ПКФ) — бромид цетилтриметиламмония - (ЦТМА) как результат взаимодействия двухкомпонентного комплекса  $[Al(ПКФ)_2]^{4-}$  с мицеллами ЦТМА, отвергая ионный механизм ассоциации как невозможный.

На примере рубеаната никеля [3], дитизонатов ртути [4] и цинка [5] было показано, что изменение спектрофотометрических свойств растворов обусловлено образованием ионных ассоциатов координированных лигандов с ионами КПАВ. В работах [3—6] установлено, что роль мицелл сводится к солюбилизации комплексов, предупреждающей образование осадков, а также к увеличению степени дисперсности его частиц. Предложенный механизм действия ПАВ позже был использован для объяснения процессов комплексообразования ионов металлов с рядом органических реагентов и КПАВ [7, 8], а также титана [9], ванадия [10], молибдена [11] и некоторых других металлов с триоксифлуоронами. Для определения индия были предложены некоторые фотометрические реактивы ряда триоксифлуоронов (ТОФ): фенилфлуорон (ФФ), салицилфлуорон, дисульфобензилфлуорон [12, 13] и др. Индий образует с ФФ яркоокрашенный комплекс с  $\epsilon = 7 \cdot 10^4$  при рН 5—6.

Чтобы повысить чувствительность и контрастность фотометрического определения индия, а также выяснить влияние различных по природе ПАВ на процессы комплексообразования, необходимо было изучить взаимодействие в системах индий — ФФ — ПАВ. В качестве последних использованы КПАВ — хлорид N-цетилпиридиния (ЦП), анионное ПАВ (АПАВ) — сульфонол (Сул), неионогенное ПАВ (НПАВ) — ОП-7 и стеарокс-6. Растворы фенилфлуорона готовили по методике [12]. Исходный  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствор соли индия (III) приготавливали растворением навески металлического индия марки «ос. ч.» в HCl с добавлением нескольких капель  $HNO_3$ , после чего раствор доводили дистиллированной водой до метки.  $1 \cdot 10^{-2}$  М растворы ПАВ готовили по навеске из очищенных торговых препаратов. Буферные рас-

воры получали сливанием определенных объемов 1 М растворов  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ . pH растворов измеряли на приборе pH-121, а оптическую плотность — на спектрофотометре «Спектромом-201», используя кюветы толщиной 1 см.

В зависимости от pH раствора фенилфлуорон может существовать, согласно [12], в пяти формах:  $\text{H}_4\text{R}^+$  (I),  $\text{H}_3\text{R}$  (II),  $\text{H}_2\text{R}^-$  (III),  $\text{HR}^{2-}$  (IV),  $\text{R}^{3-}$  (V). ФФ, в зависимости от природы ПАВ, ведет себя по-разному. В присутствии ЦП переход от формы I к V сопровождается батохромным сдвигом максимумов спектров поглощения (рис. 1). Гра-

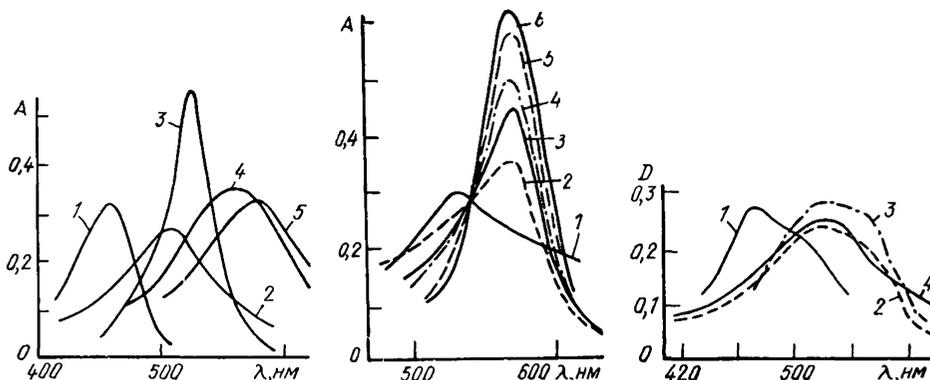


Рис. 1. Спектры светопоглощения ФФ в присутствии ЦП при различных значениях pH: 1—0 (I); 2—3,9 (II); 3—8,65 (III); 4—11,0 (IV); 5—11,8 (V). (В скобках — форма ФФ;  $C_{\text{ФФ}} = 1 \cdot 10^{-5}$  М.)

Рис. 2. Спектры светопоглощения комплекса индия с ФФ при различных концентрациях ЦП, М: 1— $4,0 \cdot 10^{-6}$ ; 2— $6,0 \cdot 10^{-6}$ ; 3— $1,0 \cdot 10^{-5}$ ; 4— $1,6 \cdot 10^{-5}$ ; 5— $2,4 \cdot 10^{-5}$ ; 6— $1,0 \cdot 10^{-3}$ . ( $C_{\text{ФФ}} = 1,0 \cdot 10^{-5}$  М;  $C_{\text{In}^{3+}} = 0,5 \cdot 10^{-5}$  М; pH 5,8.)

Рис. 3. Спектры светопоглощения комплекса индия с ФФ в присутствии сульфанола при различных значениях pH: 1—3,2; 2—5,9; 3—9,9; 4—11,0. ( $C_{\text{In}^{3+}} = C_{\text{ФФ}} = 1,0 \cdot 10^{-5}$ ;  $C_{\text{сул}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$  М.)

ницы существования III—V форм ФФ сдвинуты в более кислую область, что можно объяснить образованием ассоциатов между формами ФФ и ЦП. На образование таких соединений указывает и батохромный сдвиг максимумов спектров поглощения при введении ЦП в исследуемые растворы анионных форм ФФ.

Введение ЦП в растворы, содержащие протонизованную (I) или молекулярную (II) форму ФФ, не приводит к их надежной солюбилизации, а только несколько замедляет процесс агрегации частиц. По-видимому, эти частицы имеют довольно малую гидрофобную поверхность, которая не позволяет адсорбироваться на них достаточному количеству ионов ЦП<sup>+</sup>, необходимых, согласно теории Дерягина [14], для обеспечения агрегативной и седиментационной устойчивости дисперсной системы. В то же время частицы недостаточно гидрофильны, чтобы раствориться в воде.

Анионные формы III—V солюбилизируются ЦП: выпадения осадков и помутнения растворов с течением времени не наблюдается. Это можно объяснить резким увеличением гидрофобной поверхности частиц вследствие образования ионных ассоциатов по гидрофильным группам. Конус Тиндала в этих растворах не наблюдается, что свидетельствует о высокой степени дисперсности частиц. Отсюда можно заключить, что введение ЦП в раствор приводит к стабилизации размеров частиц порядка мицеллярных.

Батохромный сдвиг и гиперхромный эффект в спектрах поглощения ФФ при добавлении ЦП наблюдается уже при концентрациях последнего порядка  $(1-2) \cdot 10^{-5}$  М, что заметно меньше критической концентрации мицеллообразования  $C_{\text{к}}$ . Эта величина для ЦП равна  $8,8 \cdot 10^{-5}$  М [15] в растворах с весьма близкой к исследуемым растворам ионной силой. Следовательно, данные эффекты обусловлены дейст-

вием не мицелл, а ионов ЦП<sup>+</sup>, и стабилизация дисперсий объясняется образованием заряженных мицелл вокруг частиц солюбилизатора. Методом электрофореза установлено, что частицы, солюбилизованные при помощи ЦП, имеют положительный заряд, то есть он совпадает с зарядом ионов ЦП<sup>+</sup>.

Таблица 1

Характеристика форм ФФ в присутствии различных ПАВ

Форма ФФ	ПАВ	pH	$\lambda_{\text{макс}}$ , нм	$\epsilon \cdot 10^{-4}$ (pH)
H <sub>4</sub> R <sup>+</sup> (I)	Желатин*	<1,2	462—465	4,3 (1,0)
	ЦП	<1,5	460	3,2 (0)
	ОП-7	<2,5	460	2,9 (2,0)
	Сульфенол	<4,2	470	2,9 (2,6)
H <sub>3</sub> R (II)	—	—	495—500	—
	Желатин*	4,8—5,2	462—490	4,02 (5,0)
	ЦП	1,5—4,0	500—505	2,7 (3,9)
	ОП-7	2,5—7,5	500	1,4 (6,0)
H <sub>2</sub> R <sup>-</sup> (III)	—	—	505—510	—
	Желатин*	8,4—9,0	512—514	7,75 (8,5)
	ЦП	4,0—9,0	525	6,0 (7,6)
	ОП-7	7,5—10,5	510	4,25 (8,2)
HR <sup>2-</sup> (IV)	—	—	530	—
	Желатин*	11,4—12,0	532—538	4,1 (12,0)
	ЦП	9,5—11,4	555	3,5 (11,2)
	ОП-7	10,5—12,0	540	3,1 (11,9)
R <sup>3-</sup> (V)	—	—	540	4,1 (11,7)
	Желатин*	>13,0	580	5,25 (13,0)
	ЦП	>11,4	580	5,2 (12,0)
	ОП-7	>12,0	—	—

\* Данные взяты из [12].

Из данных табл. 1 можно сделать вывод, что сульфенол в кислой среде сильно влияет на фотометрические характеристики протонизованной и незаряженной форм ФФ, а в растворах с pH больше 7 самое большое изменение характеристик наблюдается у растворов, содержащих ЦП; немного меньшее влияние наблюдается у растворов, содержащих ОП-7. Это можно объяснить образованием ионных ассоциатов форм ФФ с противоположно заряженными ионами ПАВ. Такое взаимодействие приводит к исчезновению в щелочной среде гидрофильной гидроксильной группы ФФ и увеличению гидрофобной поверхности образовавшегося ассоциата, а следовательно, после адсорбции некоторого количества ионов ПАВ — к его солюбилизации. Образование мицеллы вокруг частицы комплекса приводит к его изоляции от окружающего раствора и стабилизации соответствующей формы ФФ, а также к расширению границ pH существования данной формы ФФ.

Поскольку максимумы форм III, IV на спектрах растворов ФФ, не содержащих солюбилизаторов, несколько сдвинуты гипсохромно по сравнению с растворами, содержащими желатин, желатин в щелочных растворах слабо взаимодействует по его иминным группам с анионными формами ФФ.

Анализируя спектры поглощения, можно заключить, что в кислой среде ФФ слабо взаимодействует с ОП-7. Вероятнее всего, эта связь

обусловлена слабым электростатическим взаимодействием между атомом кислорода полиоксиэтиленовых цепей ОП-7, носящим некоторый заряд  $\delta^-$  [16], и протонизированной карбонильной группой катиона фенилфлуорона. То обстоятельство, что молекулярная форма фенилфлуорона не стабилизируется этим ПАВ, можно объяснить значительной рыхлостью его мицелл. Области существования анионных форм ФФ в присутствии ОП-7 лежат в диапазоне больших значений рН по сравнению с ЦП, но меньших — с сульфонолом (см. табл. 1). Такое поведение ОП-7 можно объяснить лучшей солюбилизацией анионных форм ФФ неионогенным ПАВ по сравнению с АПАВ, ионы которого отталкиваются от одноименно заряженных частиц солюбилизата. НПАВ стеарокс-6 не стабилизирует растворы ФФ. Введение больших количеств стеарокса нецелесообразно, так как это приводит к существенному увеличению мутности растворов.

Природа ПАВ также оказывает существенное влияние на процессы комплексообразования ионов индия с ФФ. В присутствии ЦП комплексообразование начинается при  $\text{pH} > 2$ , а его оптимальная величина равна 5,0—6,5. Максимальное развитие окраски наблюдается после 5-минутного стояния, после чего спектры практически не изменяются во времени. При различных значениях рН растворов и концентраций  $\text{In}^{3+}$  характер спектров поглощения и соотношение между индием и ФФ в комплексном соединении не изменяется. Последнее определяли методом молярных отношений, изомолярных серий, а также методом Адамовича и оказалось равным 1 : 2. Максимум оптической плотности растворов наблюдается при 570 нм. Из этого можно сделать вывод, что ФФ, вероятнее всего, входит в комплекс в форме  $\text{HR}^{2-}(\text{IV})$ , для которой  $\lambda_{\text{макс}} = 550$  нм.

Спектры светопоглощения растворов комплекса индия с ФФ, содержащие различные концентрации ЦП (рис. 2), показывают, что только при низких концентрациях ПАВ (кривые 1, 2) наблюдается bathochromный сдвиг максимума. Это говорит о том, что образовавшееся сначала обычное комплексное соединение  $\text{InФФ}_2$  [12, 13] взаимодействует с ионами  $\text{ЦП}^+$ , образуя новый комплекс с участием этого ПАВ. Поскольку эти эффекты наблюдаются уже при концентрациях ЦП ( $6 \times 10^{-6}$  М), значительно меньших критической концентрации мицеллообразования ( $C_{\text{к}} = 8,8 \cdot 10^{-5}$  М [15]), можно заключить, что взаимодействие комплекса индия с ФФ происходит не с мицеллами, а с ионами  $\text{ЦП}^+$ , что согласуется с [4, 5].

При дальнейшем увеличении концентрации ЦП в растворах на спектрах трехкомпонентного комплексного соединения наблюдается резкий гиперхромный эффект. Вероятнее всего, это связано со сдвигом равновесия реакций в сторону увеличения концентрации трехкомпонентного комплекса в результате действия общего иона, а также с явлением солюбилизации, сопровождающимся уменьшением размеров частиц комплекса и изоляцией этих частиц от водной среды в результате упрочнения стенок образующихся мицелл.

Методом молярных отношений установлено, что соотношение между индием и  $\text{ЦП}^+$  в трехкомпонентном комплексе равно 1 : 2. Следовательно, в этом соединении соотношение  $\text{In}^{3+} : \text{ФФ} : \text{ЦП}^+ = 1 : 2 : 2$ . Увеличение концентрации ЦП сопровождается повышением устойчивости растворов, и их полная агрегативная и седиментационная стабилизация достигается при концентрации порядка  $C_{\text{к}}$ . Это говорит о том, что происходит солюбилизация тройного комплексного соединения. В присутствии всех ПАВ соотношение  $\text{In}^{3+} : \text{ФФ}$  в комплексных соединениях равно 1 : 2 (табл. 2).

Анализируя спектры светопоглощения растворов, содержащих комплекс индия с ФФ и сульфонол (рис. 3), в интервале  $5 < \text{pH} < 8$ , можно заключить, что в растворах присутствует комплексное соединение, аналогичное описанному в [12, 13], а также одноионизированная форма  $\text{H}_2\text{R}^-$ . Концентрация комплексного соединения заметно меньше концентрации некоординированного адденда, несмотря на то, что исходные

концентрации металла и лиганда одинаковы. Вероятно, при этом протекает конкурирующая реакция образования соли сульфонола с индием, обладающая развитой гидрофобной поверхностью, которая солюбилизируется избытком ПАВ.

В присутствии ОП-7 максимум поглощения комплекса с изменением рН в интервале 0—8 сдвигается батохромно постепенно, чего не наблюдалось в присутствии КПАВ и АПАВ. Оптическая плотность раствора достигает максимума ( $\lambda_{\text{макс}} = 570$  нм) при рН 8. При этом батохромный сдвиг достигает предела. В кислой среде ОП-7 ведет себя

Таблица 2

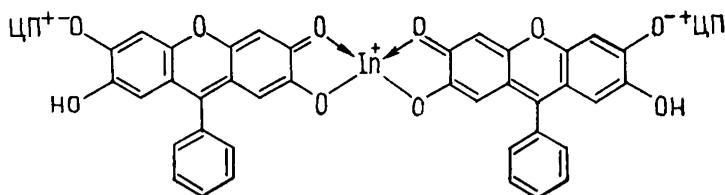
Характеристика комплекса  $\text{InФ}_2$  в присутствии различных ПАВ (состав 1:2)

ПАВ	рН	$\lambda_{\text{макс}}$ , нм	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$ (рН)
ЦП	2	570	11,2 (5,8)
Сульфонол	5—8	540	2,8 (6,0)
ОП-7	4,5—5	520	2,6 (4,8)
	7,8—10,5	570	9,2 (8,15)
Стеарокс-6	5—6	545	5,0 (5,8)
	9—11,5	570	9,0 (10,9)

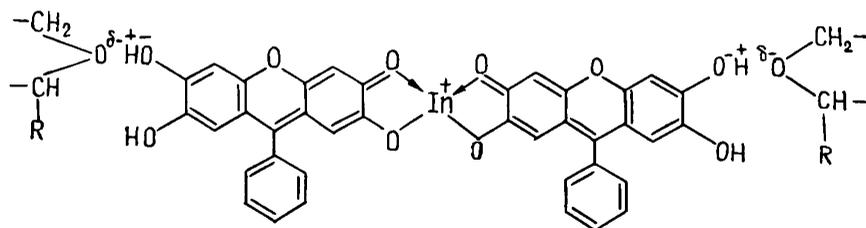
подобно сульфонолу, а при рН 8 напоминает действие ЦП. Стеарокс-6 ведет себя подобно ОП-7, но его действие в меньшей мере напоминает влияние ЦП. Таким образом, сдвиг максимума светопоглощения с увеличением рН растворов связан, очевидно, с постепенным увеличением полярности связи гидроксильной  $\text{O—H}$ -группы ФФ и оттягиванием атома водорода к атому кислорода полиоксиэтиленовой цепи ОП-7.

Введение ПАВ в растворы препятствует агрегации молекул комплекса, поэтому следует придерживаться следующего порядка сливания растворов; буферный раствор — ЦП — ФФ — соль металла. Это обеспечивает лучшее воспроизведение результатов измерения и достаточно быстрое развитие окраски. Установлено, что заряд окрашенных частиц во всех случаях совпадает с зарядом иона ПАВ, а значит частицы комплексов солюбилизованы данным ПАВ.

Учитывая состав образующегося трехкомпонентного комплексного соединения в присутствии ЦП, форму ФФ, в которой он входит в комплекс, а также пространственное строение ФФ, комплекс можно представить формулой



В случае НПАВ можно предложить формулу



Сходство в поведении КПАВ и НПАВ отмечалось в работах [3, 5], однако в нашем случае полной аналогии между этими типами ПАВ не было.

Наибольшая оптическая плотность растворов наблюдается при использовании для солюбилизации ЦП. Эти растворы подчиняются закону Бугера—Ламберта—Бера до концентрации 1, 2 мкг/мл  $\text{In}^{3+}$ . Калибровочная зависимость, рассчитанная методом наименьших квадратов, описывается уравнением  $A=0,0975+1,12 \cdot 10^5 C$ . Полученное значение  $\epsilon$  будет несколько занижено, так как из оптической плотности раствора не вычтена оптическая плотность ФФ (исходная концентрация ФФ равна  $2,0 \cdot 10^{-5}$  М). Действительно, концентрация свободного ФФ будет уменьшаться с прибавлением  $\text{In}^{3+}$  по уравнению  $C_{\text{ФФ}} = C_{\text{ФФ}}^0 - 2C_{\text{In}}$ . Тогда пересчет данных приводит к уравнению  $A=1,22 \times 10^5 C$ . Таким образом, истинный коэффициент молярного погашения комплекса равен  $1,22 \cdot 10^5$ .

Можно также получить калибровочную зависимость комплекса, не содержащую сигнала ФФ, используя растворы с высоким значением рН (рН=10,8). При стоянии свободный ФФ разлагается (обесцвечивается), а комплекс почти не изменяет своей окраски  $1 \cdot 10^{-5}$  М раствор ФФ при рН 11 полностью разлагается через 40 мин. Калибровочная зависимость при этом описывается уравнением  $A=1,17 \cdot 10^5 C$ .

Фотометрическому определению индия не мешают ионы металлов, которые не взаимодействуют с ФФ, а в слабокислой среде не мешают также  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  в тысячекратном избытке. Данная реакция может быть использована для фотометрического определения следовых количеств индия. Она характеризуется высокой чувствительностью и надежностью результатов, достаточной быстротой и простотой выполнения.

1. *Elucidation of mode of formation of sensitized metal—chelate systems and determination of molybdenum and antimony* / B. W. Bailey, J. E. Chester, R. M. Dagnall, T. S. West.— *Talanta*, 1968, 15, N 6, p. 1359—1369.
2. *Chester J. E., Dagnall R. M., West T. S.* An improved reagent system for the spectrophotometric determination of aluminium.— *Ibid.*, 1970, 17, N 1, p. 13—19.
3. *Альбота Л. А., Сердюк Л. С., Заверач М. М.* Исследование солюбилизованных рубсанатов никеля и меди в присутствии ОП-7 и N-цетилпиридиний хлорида.— *Укр. хим. журн.*, 1976, 42, № 3, с. 239—242.
4. *Альбота Л. А., Сердюк Л. С., Заверач М. М.* Комплексообразование ртути с дитизоном в присутствии N-цетилпиридиний хлорида.— *ДАН УССР. Б.*, 1974, № 5, с. 437—439.
5. *Альбота Л. А., Колдарь Л. В.* Исследование комплексообразования ионов цинка с дитизоном в присутствии некоторых поверхностно-активных веществ.— *Физ.-хим. изучение неорган. соединений*, 1977, вып. 5, с. 136—143.
6. *Альбота Л. А., Сердюк Л. С., Заверач М. М.* Фотометрическое определение никеля с рубсаповодородной кислотой в присутствии сульфанола.— *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 1974, 17, вып. 10, с. 1482—1485.
7. *О механизме действия катионных ПАВ в системах органический реагент—ион металла—ПАВ* / С. Б. Саввин, Р. К. Чернова, В. В. Белоусова и др.— *Журн. аналит. химии*, 1978, 33, вып. 8, с. 1473—1480.
8. *Немодрок А. А., Аверадзе Н. Г., Супаташвили Г. Ю.* Взаимодействие алюминия с хромазуолом S в присутствии некоторых поверхностно-активных веществ.— *Там же*, 1980, 35, вып. 8, с. 1511—1519.
9. *Белоусова В. В., Чернова Р. К.* Поверхностно-активные вещества в спектрофотометрическом анализе. Комплекс титана с дисульфофенилфлуороном и длинноцепочечными аминами.— *Там же*, 1977, 32, вып. 9, с. 1669—1673.
10. *Изучение взаимодействия ванадия с триоксифлуоронами* / В. П. Антонович, Ю. П. Чухрай, И. В. Матяшук, В. Б. Рыбалка.— *Там же*, 1980, 35, вып. 2, с. 289—295.
11. *Взаимодействие молибдена (VI) с триоксифлуоронами в присутствии поверхностно-активных веществ* / В. В. Назаренко, М. Н. Новоселова, Ю. М. Чернобергский и др.— *Там же*, вып. 12, с. 2331—2340.
12. *Назаренко В. А., Антонович В. П.* Триоксифлуороны.— М.: Наука, 1973.—182 с.
13. *Бирюк Е. А., Назаренко В. А., Равицкая Р. В.* Исследование химизма реакций ионов многовалентных элементов с органическими реагентами. Сообщение 19. Взаимодействие индия с триоксифлуоронами.— *Журн. аналит. химии*, 1969, 24, вып. 9, с. 1337—1340.
14. *Дерягин Б. В.* Устойчивость коллоидных систем.— *Успехи химии*, 1979, 48, вып. 4, с. 675—721.

15. Альбога Л. А., Заверач М. М. Применение метода переменноточковой полярографии для определения критической концентрации мицеллообразования сульфанола, ОП-7 и N-цетилпиридиний бромиды.— Коллоид. журн., 1974, 36, № 5, с. 1022—1023.  
16. Шенфельд Н. Неионогенные моющие средства.— М.: Химия, 1965.—488 с.

Черновицкий  
государственный университет

Поступила  
14 декабря 1981 г.

УДК 543.412:546,732:661.185

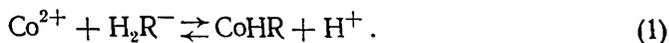
## РЕАКЦИЯ КОБАЛЬТА С ФЕНИЛФЛУОРОНОМ И ХЛОРИДОМ ЦЕТИЛПИРИДИНИЯ

М. М. Тананайко, Г. А. Тодрадзе

Фенилфлуорон (ФФ) — реагент, применяющийся для фотометрического и экстракционно-фотометрического определения ряда металлов [1]. Цель настоящего исследования — изучить условия взаимодействия кобальта с ФФ в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ). Введение этих соединений в ряде случаев повышает аналитическую значимость флуоронатов металлов, обуславливая рост чувствительности и контрастности фотометрических реакций [2—4].

Исходные  $1 \cdot 10^{-3}$  М спиртовые растворы ФФ квалификации «ч. д. а.» в 6 М HCl готовили из предварительно дважды перекристаллизованного препарата по методике [1],  $1 \cdot 10^{-2}$  М водный раствор хлорида цетилпиридиния (ЦП) (с содержанием 96 % основного вещества) — по навескам реагента,  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствор нитрата кобальта приготавливали из металлического кобальта [5]. Необходимое значение pH создавали 0,1 н. HCl или 0,1 н. NaOH либо боратным буфером [6]. Более разбавленные растворы перечисленных реагентов готовили разбавлением исходных непосредственно перед работой. Значение pH контролировали pH-метром pH-340 со стеклянным электродом. Оптическую плотность измеряли спектрофотометрами СФ-10, СФ-26 при  $l = 1$  см.

Сведений об условиях взаимодействия кобальта с ФФ в литературе нами не обнаружено. Опыты показали, что при  $\text{pH} > 6$  образуется соединение с максимумом поглощения при  $\lambda = 540$  нм (рис. 1, кривая 3); область максимального связывания соответствует pH 8,8—9,8. Окраска комплекса развивается через 5 мин после смешивания компонентов и устойчива в течение двух часов. Состав комплекса был установлен методами изолярических серий, молярных отношений и Старики-Барбанеля [7]. Полученные результаты совпадают, что указывает на образование комплекса со стехиометрией 1:1. В условиях максимального выхода комплекса (pH 9,0—9,5) кобальт приблизительно на 55 % находится в форме иона  $\text{Co}^{2+}$  [6], а реагент — в форме  $\text{H}_2\text{R}^-$  [1]; реакцию образования комплекса можно представить схемой



Образовавшийся хелат  $\text{CoHR}$  не экстрагируется бензолом, хлороформом, дихлорэтаном, четыреххлористым углеродом, изобутанолом, бутанолом, а также смесями бутанола с хлороформом в различных соотношениях. Реакция образования фенилфлуороната кобальта характеризуется невысокой чувствительностью  $(18,2 \pm 0,2) \cdot 10^3$  и контрастностью ( $\Delta\lambda = 40$  нм). Для улучшения химико-аналитических характеристик комплекса вводили второй реагент.

В качестве дополнительных реагентов нами были изучены поверхностно-активные вещества различной природы: катионоактивный — хлорид цетилпиридиния, анионоактивный — додецилсульфат натрия и неионогенное ПАВ-ОП-10. Опыты показали, что последние два реагента при широком варьировании концентрационных условий и pH растворов