

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРАТАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТРИФТОРАЦЕТОФЕНОНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ
В СИСТЕМЕ ГЕКСАН – ВОДАЮ. В. МАТВЕЙЧУК¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Проведено УФ-спектрофотометрическое и хроматографическое исследование распределения и гидратации трифторацетофенона и ряда его производных: гептилового эфира *n*-трифторацетилбензойной кислоты (ГЭ *n*-ТФАБК), *n*-метилтрифторацетофенона (*n*-МТФАФ), 2,4-диметилтрифторацетофенона, 2,4,6-триметилтрифторацетофенона – в системе гексан – вода, которая моделирует поливинилхлоридную мембрану ионоселективных электродов. Трифторацетофенон обладает повышенной растворимостью в воде (коэффициент распределения *D* равен 415) по сравнению с указанными выше его производными (*D* в пределах 1360–2700). Заметно гидратация протекает для ГЭ *n*-ТФАБК, и особенно сильно в щелочной среде. Установлено, что *n*-МТФАФ и ГЭ *n*-ТФАБК образуют кристаллические гидраты.

Ключевые слова: трифторацетофенон; гептиловый эфир *n*-трифторацетилбензойной кислоты; гидратация.

INVESTIGATION OF HYDRATION AND DISTRIBUTION
OF TRIFLUOROACETOPHENONE AND ITS DERIVATIVES
IN HEXANE – AQUA SYSTEMYu. V. MATVEICHUK^a^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

UV spectrophotometric and chromatographic study of the distribution and hydration of trifluoroacetophenone (TFAF) and some its derivatives (*p*-trifluoroacetyl benzoic acid heptyl ester (TFABAHE), *p*-methyltrifluoroacetophenone (*p*-MTFAF), 2,4-dimethyltrifluoroacetophenone (DMTFAF), 2,4,6-trimethyltrifluoroacetophenone (TMTFAF)) in the hexane-water system, which models the polyvinyl chloride membrane of ion-selective electrodes was investigated. TFAF has a high solubility in water (distribution coefficient *D* is equal to 415) as compared with *p*-MTFAF, DMTFAF, TMTFAF and TFABAHE (*D* within 1360–2700). Hydration occurs most strongly to TFABAHE and is especially strong in alkaline medium. It is established that *p*-MTFAF and TFABAHE form a crystalline hydrates.

Key words: trifluoroacetophenone; *p*-trifluoroacetyl benzoic acid heptyl ester; hydration.

Образец цитирования:

Матвейчук ЮВ. Изучение гидратации и распределения трифторацетофенона и его производных в системе гексан – вода. *Журнал Белорусского государственного университета. Химия*. 2019;1:51–58.
<https://doi.org/10.33581/2520-257X-2019-1-51-58>

For citation:

Matveichuk YuV. Investigation of hydration and distribution of trifluoroacetophenone and its derivatives in hexane – aqua system. *Journal of the Belarusian State University. Chemistry*. 2019;1:51–58. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2520-257X-2019-1-51-58>

Автор:

Юлия Владимировна Матвейчук – кандидат химических наук, доцент; докторант кафедры аналитической химии химического факультета.

Author:

Yulya V. Matveichuk, PhD (chemistry), docent; doctoral student at the department of analytical chemistry, faculty of chemistry.
yu_matveychuk@mail.ru

Введение

Известно, что аналитические характеристики ионоселективных электродов (ИСЭ), обратимых к сульфат-, карбонат- и другим гидрофильным ионам, зависят не только от стерической доступности обменного центра высших четвертичных аммониевых солей (ЧАС), но и от сольватирующей добавки – нейтрального переносчика (НП) [1–5].

При изготовлении мембран ИСЭ, обратимых к гидрофильным неорганическим и органическим анионам, в качестве НП широко используются производные трифторацетофенона (ТФАФ), главным образом для получения CO_3^{2-} -селективных электродов (СЭ). Введением НП в состав мембран достигается существенное улучшение селективности ИСЭ. Для мембран CO_3^{2-} -СЭ используются следующие производные ТФАФ: гептиловый (или гексиловый) эфир *n*-трифторацетилбензойной кислоты (ГЭ *n*-ТФАБК), *n*-бутилацетофенон, 4'-*N*-пропил-2,2,2-ТФАФ, 3-бromo-4-гексил-5-нитро-ТФАФ, 1,7-бис(4'-трифторацетофенил)-4-додецил-1,7-диоксо-2,6-диоксигептан, 1,2-бис(4-трифторацетилбензоилоксиметил)бензол, 2,7-диаза-1,8-бис(4'-трифторацетофенил)-2,7-ди(1''-гексил)-1,8-диоксооктан, *N,N'*-диоктил-3 α ,12 α -бис(4-трифторацетилоксибензил)-5 β -холан-24-амид и др. [6–8].

В работе [9] приведены результаты систематических исследований по влиянию природы заместителей в ТФАФ на характеристики ацетат- и карбонатселективных электродов. В качестве НП для SO_4^{2-} -СЭ (из числа производных ТФАФ) наиболее широко используется ГЭ *n*-ТФАБК [1–5].

Предыдущие исследования ограничивались разработкой именно ИСЭ, определением их аналитических характеристик, и практически не уделялось внимание вопросу гидратации ТФАФ и его производных. Однако было замечено [1; 10], что образование *гем*-диольной формы ГЭ *n*-ТФАБК приводит к ухудшению аналитических характеристик электродов, функционирующих как в кислой среде (SO_4^{2-} -СЭ), так и в щелочной (CO_3^{2-} -СЭ) за счет процессов, которые схематично представлены на рис. 1.

В данной работе проведено исследование гидратации ТФАФ и его производных, а также методами УФ-спектрометрии и хроматографии определены коэффициенты распределения ТФАФ и его производных в системе гексан – вода, которая упрощенно моделирует поведение поливинилхлоридных мембран, содержащих НП, при контакте с водными растворами.

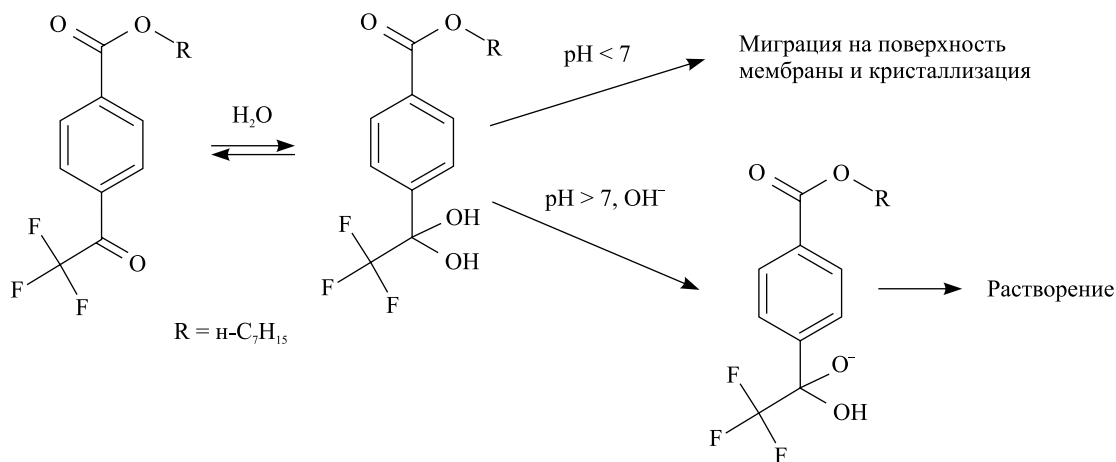


Рис. 1. Процессы, протекающие при эксплуатации электродов, содержащих ГЭ *n*-ТФАБК, в кислой и щелочной средах

Fig. 1. Processes occurring during electrodes exploitation containing TFABAHE in acidic and alkaline media

Материалы и методы

Используемые вещества: гексан «ч. д. а.», гидроксид натрия «ч. д. а.», серная кислота «х. ч.», ГЭ *n*-ТФАБК (синтезирован по методике из [10]), ТФАФ (99 %) (*Sigma-Aldrich*); *n*-метилтрифторацетофенон (*n*-МТФАФ), 2,4-диметилтрифторацетофенон (ДМТФАФ), 2,4,6-триметилтрифторацетофенон (ТМТФАФ) – синтезированы на кафедре аналитической химии БГУ.

Для всех НП записаны хроматограммы и обработаны с помощью прикладной программы для хромато-масс-спектрометра GCMS-QP 2010 (*Shimadzu*, Япония). В результате получены следующие массовые содержания основного вещества: 99,45 % ГЭ *n*-ТФАБК, 99,00 % ТФАФ, 92,56 % *n*-МТФАФ, 94,57 % ДМТФАФ, 90,52 % ТМТФАФ.

Спектры ЯМР ^1H гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК записывали на мультисканном фурье-ЯМР-спектрометре высокого разрешения AVANCE-500с с рабочей частотой 500 МГц (для ядер ^1H). Спектры регистрировались при температуре 293 К, в качестве растворителя использовали дейтерохлороформ, внутренний стандарт – остаточный сигнал растворителя $\delta \text{CDCl}_3 - 7,26$ м. д. для ядер ^1H .

ИК-спектрометрический анализ кристаллических гидратов ГЭ *n*-ТФАБК и *n*-МТФАФ, негидратных форм ТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ проводили на ИК-фурье-спектрометре Bruker ALPNA с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения ATR Di в диапазоне волновых чисел от 4000 до 400 cm^{-1} . Запись спектров проводили через 4 cm^{-1} .

Для изучения распределения ГЭ *n*-ТФАБК, ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ в системе гексан – вода хроматографическим методом готовили $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворы ($C_{\text{исх}}^{\text{орг. ф}}$) в гексане. Отбирали по 5 мл каждого раствора в делительные воронки и добавляли по 50 мл воды. Содержимое воронок встряхивали в течение 1 мин и оставляли до полного расслоения. Затем отбирали по 40 мл водной фазы и добавляли по 4 мл гексана в целях концентрирования в 10 раз перешедших в водную фазу веществ. Коэффициент распределения D рассчитывали по формуле

$$D = \frac{C_{\text{орг. ф}}}{C_{\text{вод. ф}}},$$

где $C_{\text{вод. ф}} = \frac{C_{\text{резстр}}^{\text{гексан. ф}}}{10}$ – концентрация ГЭ *n*-ТФАБК, ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ, перешедшая в водную фазу.

Для изучения экстракции ГЭ *n*-ТФАБК, ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ в системе гексан – вода методом УФ-спектрофотометрии готовили $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворы ($C_{\text{исх}}^{\text{орг. ф}}$) ТФАФ и его производных в гексане. Отбирали по 10 мл растворов в делительные воронки и добавляли по 50 мл воды. Содержимое воронок встряхивали в течение 1 мин и оставляли до полного расслаивания. Затем отбирали по 40 мл водной фазы и добавляли по 8 мл гексана в целях концентрирования в 5 раз перешедших в водную фазу ТФАФ и его производных. Резэкстракция таковых гексаном проводилась для соблюдения одинаковых условий эксперимента, т. е. использования одного и того же растворителя. Оптическую плотность водной фазы рассчитывали по формуле

$$A_{\text{вод. ф}} = \frac{A_{\text{резстр}}^{\text{гексан}}}{5}.$$

Экстракцию проводили из $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л гексановых растворов в целях увеличения чувствительности определений. Так как $C_{\text{исх}}^{\text{орг. ф}}$ составляет $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а УФ-спектр ТФАФ и его производных записывали для концентрации $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, то, чтобы значение оптической плотности не превышало 1,5, при расчете коэффициента распределения D необходимо умножение на 100:

$$D = \frac{A_{\text{орг. ф}}}{A_{\text{вод. ф}}} \cdot 100.$$

Для изучения гидратации ГЭ *n*-ТФАБК, ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ методом УФ-спектрофотометрии указанные в табл. 1 системы смешивали в мерных пробирках с пришлифованными пробками и встряхивали несколько раз по 1 мин (общее время экстрагирования 30 мин). После расслаивания фотометрировали водную фазу. УФ-спектры записывали на спектрофотометре Solar PB 2201 в диапазоне длин волн от 220 до 400 нм (кювета 1 см).

Таблица 1

Изученные методом УФ-спектрофотометрии системы

Table 1

The systems studied by UV spectrophotometry method

Система	Среда
<i>Нейтральная</i>	
1	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 25 мл H_2O
<i>Кислая</i>	
2	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 0,5 мл 1 моль/л H_2SO_4 + 22 мл H_2O

Окончание табл. 1
Ending table 1

Система	Среда
3	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 2,5 мл 1 моль/л H_2SO_4 + 20 мл H_2O
4	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 22,5 мл 1 моль/л H_2SO_4
<i>Щелочная</i>	
5	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 1 мл 1 моль/л NaOH + 21,5 мл H_2O
6	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 2,5 мл 1 моль/л NaOH + 20 мл H_2O
7	2,5 мл $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л ТФАФ или его производных + 22,5 мл 1 моль/л NaOH

Результаты и их обсуждение

Исследование гидратации ГЭ *n*-ТФАБК, ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ методом УФ-спектрофотометрии. Проведен предварительный эксперимент по изучению гидратации НП во времени. Записывали УФ-спектры водной фазы сразу после расслоения фаз, через 15; 30; 60 и 120 мин, через 1 и 2 сут. Установили (рис. 2 и 3), что основные изменения происходят в течение первых 30 мин, при увеличении времени экстракции положение максимумов и значение оптической плотности практически не изменяются (на 1–3 нм и 0,02–0,05 единиц соответственно).

Следует отметить, что за время экстракции (30 мин) не было обнаружено кристаллических гидратов ни *n*-МТФАФ, ни ГЭ *n*-ТФАБК. Их образование происходит при стоянии под слоем воды в течение 3–4 сут и 12–15 ч соответственно.

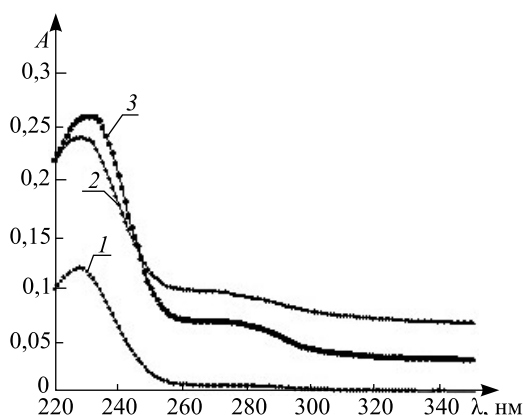


Рис. 2. УФ-спектры ГЭ *n*-ТФАБК (система 1 из табл. 1):
1 – сразу после расслаивания фаз; 2 – через 30 мин после экстракции; 3 – через 2 ч после экстракции

Fig. 2. UV spectra TFABAH (system 1 from table 1):
1 – immediately after separation; 2 – 30 min after extraction; 3 – 2 h after extraction

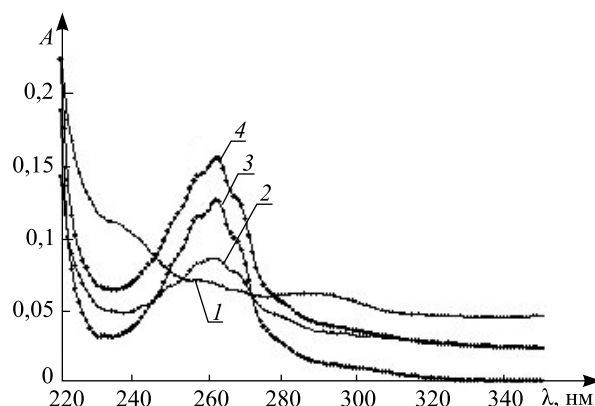


Рис. 3. УФ-спектры ТФАФ (система 1 из табл. 1):
1 – сразу после расслаивания фаз; 2 – через 15 мин после экстракции;
3 – через 30 мин после экстракции; 4 – через 1 сут после экстракции

Fig. 3. UV spectra TFAF (system 1 from table 1):
1 – immediately after separation; 2 – 15 min after extraction; 3 – 30 min after extraction; 4 – 1 d after extraction

Согласно [11], гидратная форма ГЭ *n*-ТФАБК имеет в УФ-спектре полосу поглощения с максимумом при 231 нм, негидратная форма – при 261 нм. Также в работе [11] записаны УФ-спектры гидратной и негидратной форм 4-(*n*-додецилсульфонил)-1-ТФАФ с максимумами поглощения при 253 и 220 нм соответственно. Таким образом, из [11] следует, что гидратация производных ТФАФ приводит к гипсохромному сдвигу полос поглощения.

УФ-спектры водных фаз, полученных после экстракции ТФАФ и его производных из гексановых растворов щелочью, представлены на рис. 4, из которого видно, что *гем*-диольную (гидратную) форму образуют ТФАФ и ГЭ *n*-ТФАБК, для *n*-МТФАФ устанавливается равновесие между гидратной и негидратной формами, тогда как ДМТФАФ и ТМТФАФ не гидратируются даже при обработке 1 моль/л раствором NaOH. В нейтральной и кислой средах гидратация протекает только для ГЭ *n*-ТФАБК (рис. 5 и 6).

В целом гидратация *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ протекает слабо, что, видимо, обусловлено как стерическими препятствиями со стороны метильных групп приближению молекул воды к карбонильному углероду трифторацетильной группы, так и уменьшением кислотности карбонильного углерода.

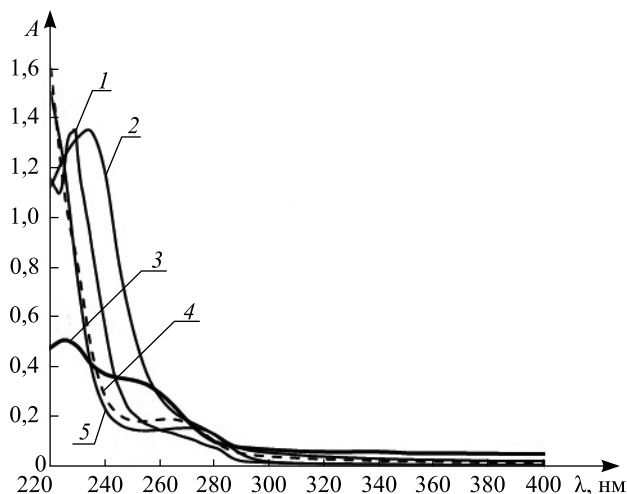


Рис. 4. УФ-спектры водных фаз, полученных после экстракции ТФАФ и его производных из гексанового раствора 1 моль/л раствором NaOH: 1 – ГЭ *n*-ТФАБК; 2 – ТФАФ; 3 – *n*-МТФАФ; 4 – ДМТФАФ; 5 – ТМТФАФ

Fig. 4. UV spectra of aqueous phases obtained after extraction of TFAF and its derivatives from a hexane solution with 1 mol/L NaOH: 1 – TFABANE; 2 – TFAF; 3 – *p*-MTFAF; 4 – DMTFAF; 5 – TMTFAF

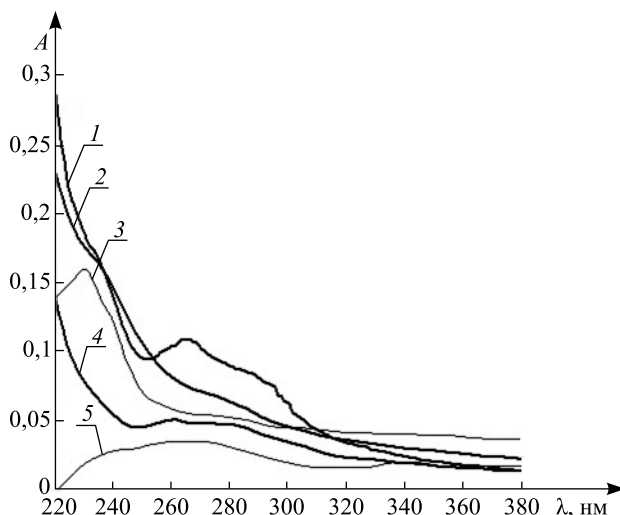


Рис. 5. УФ-спектры водных фаз, полученных после экстракции ТФАФ и его производных из гексанового раствора 1 моль/л раствором H₂SO₄: 1 – ТФАФ; 2 – ДМТФАФ; 3 – ГЭ *n*-ТФАБК; 4 – ТМТФАФ; 5 – *n*-МТФАФ

Fig. 5. UV spectra of aqueous phases obtained after extraction of TFAF and its derivatives from a hexane solution with 1 mol/L H₂SO₄: 1 – TFAF; 2 – DMTFAF; 3 – TFABANE; 4 – TMTFAF; 5 – *p*-MTFAF

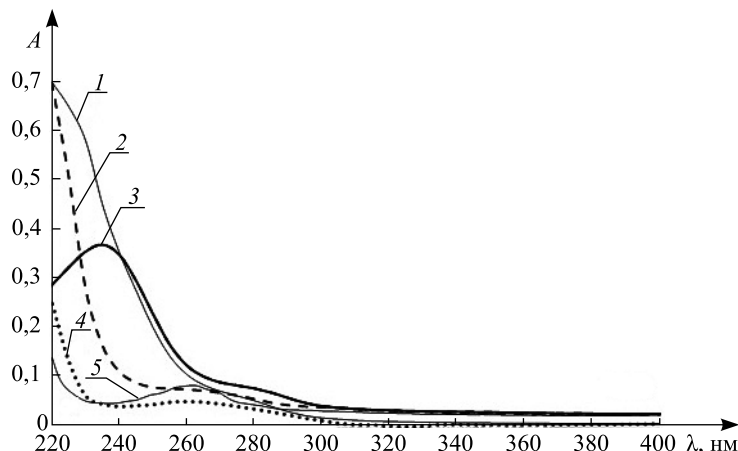


Рис. 6. УФ-спектры водных фаз ($\text{pH} \approx 6$), полученных после экстракции ТФАФ и его производных из гексанового раствора водой:

1 – ДМТФАФ; 2 – ТМТФАФ; 3 – ГЭ *n*-ТФАБК; 4 – *n*-МТФАФ; 5 – ТФАФ

Fig. 6. UV spectra of aqueous phases ($\text{pH} \approx 6$) obtained after extraction of TFAF and its derivatives from a hexane solution with water:

1 – DMTFAF; 2 – TMTFAF; 3 – TFABANE; 4 – *p*-MTFAF; 5 – TFAF

Таким образом, наиболее активно гидратируется ГЭ *n*-ТФАБК.

В ИК-спектрах негидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК (рис. 7, а) и *n*-МТФАФ (рис. 7, в) отмечаются интенсивные полосы 1720 и 1713 cm^{-1} соответственно, относящиеся к $\nu(\text{C}=\text{O})$ карбонильной группы [12]. В ИК-спектре гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК (рис. 7, б) наблюдается принципиальное отличие: появляется интенсивная полоса около 1690 cm^{-1} [12], относящаяся к сложноэфирной группе, и существенно уменьшается интенсивность полосы около 1720 cm^{-1} , что связано с превращением карбонильной группы в диольную группировку, а также полосы более 3100 cm^{-1} , относящейся к валентным колебаниям $\nu(\text{OH})$. В спектре гидратной формы *n*-МТФАФ (рис. 7, г) также появляются полосы в области более 3100 cm^{-1} и существенно уменьшается интенсивность полосы 1713 cm^{-1} .

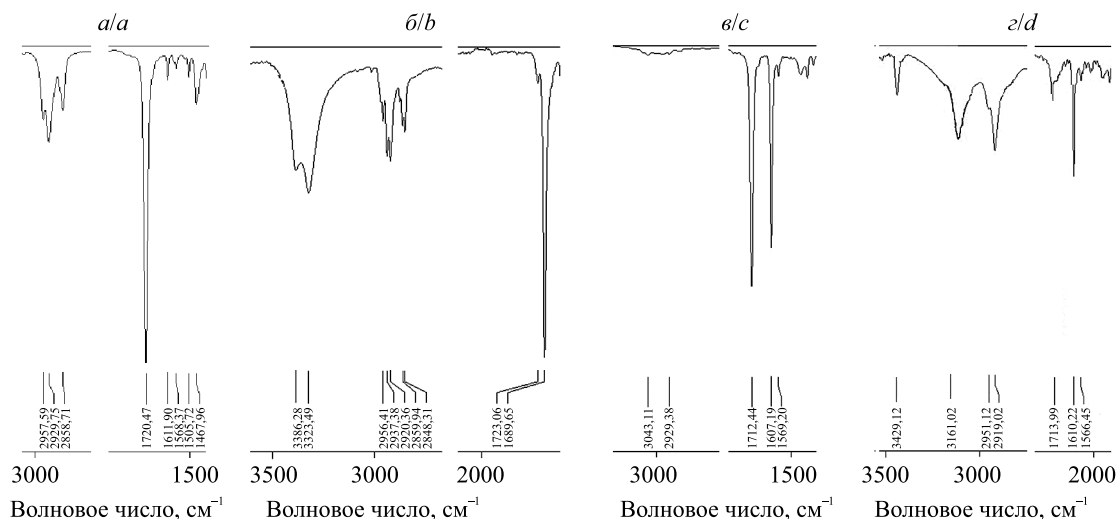


Рис. 7. ИК-спектры: а – ГЭ *n*-ТФАБК; б – гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК; в – *n*-МТФАФ; г – гидратной формы *n*-МТФАФ

Fig. 7. IR spectrum: а – TFABANE; б – hydrated form of TFABANE; в – *p*-MTFAF; г – hydrated form of *p*-MTFAF

Исследование гидратации ГЭ *n*-ТФАБК методом ЯМР ^1H -спектроскопии. Спектр ГЭ *n*-ТФАБК (δ , м. д.) (рис. 8, а): 0,86 (т, $J = 6,9$ Гц, 3Н, CH_3), 1,28 (м, 8Н, $(\text{CH}_2)_4$), 1,76 (м, 2Н, OCH_2CH_2), 4,33 (т, $J = 6,7$ Гц, 2Н, OCH_2), 8,10 (д, $J = 8,5$ Гц, 2Н, H_{ar}), 8,15 (д, $J = 8,5$ Гц, 2Н, H_{ar}).

Спектр гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК (δ , м. д.) (рис. 8, б): 0,90 (т, $J = 6,9$ Гц, 3Н, CH_3), 1,30 (м, 8Н, $(\text{CH}_2)_4$), 1,72 (м, 2Н, OCH_2CH_2), 4,06 (с, 2Н, gem-OH), 4,29 (т, $J = 6,7$ Гц, 2Н, OCH_2), 7,75 (д, $J = \text{Гц}$, 2Н, H_{ar}), 7,95 (д, $J = \text{Гц}$, 2Н, H_{ar}).

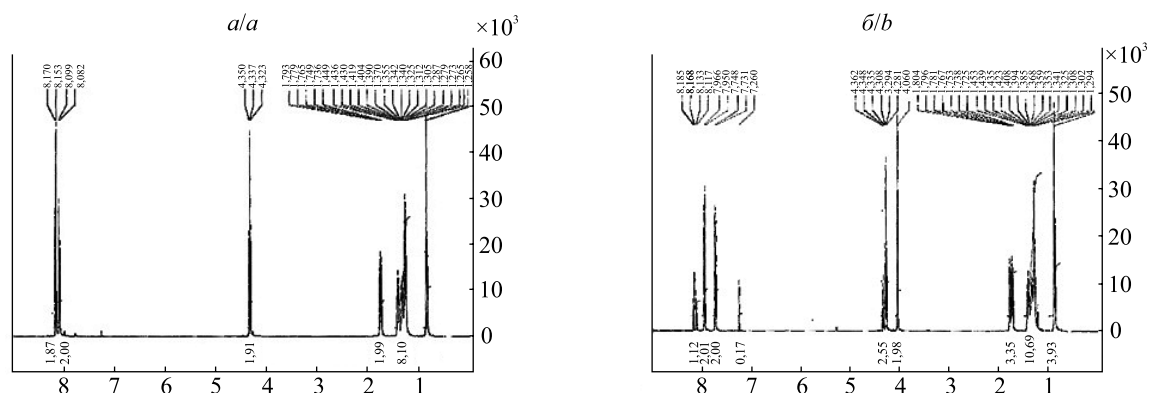


Рис. 8. Спектры ЯМР ^1H : а – ГЭ *n*-ТФАБК; б – гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК

Fig. 8. NMR ^1H spectrum: а – TFABANE; б – hydrated form of TFABANE

Спектр ЯМР ^1H гидратной формы ГЭ *n*-ТФАБК, наряду с сигналами основного соединения, содержит также сигналы негидратированного ГЭ *n*-ТФАБК в соотношении примерно 4 : 1, что указывает на существующее в растворе CDCl_3 равновесие между гидратной и негидратной формами.

Исследование распределения ТФАФ, *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ, ГЭ *n*-ТФАБК в системе гексан – вода методом УФ-спектрофотометрии и хроматографии. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты *D* распределения ТФАФ
и его производных в системе гексан – вода,
полученные методами УФ-спектрофотометрии и хроматографии

Table 2

The distribution coefficients *D* TFAF
and its derivatives in hexane – water system
obtained by UV spectrophotometry and chromatography methods

Вещество	Значение <i>D</i>	
	УФ-спектрометрия	Хроматография
ТФАФ	415	380
<i>n</i> -МТФАФ	1490	1600
ДМТФАФ	1360	1530
ТМТФАФ	2700	2460
ГЭ <i>n</i> -ТФАБК	1420	1760

Из полученных данных видно, что ТФАФ обладает достаточно высокой растворимостью в воде, что затрудняет его применение в качестве НП в мембранах ИСЭ. Значения *D* для *n*-МТФАФ и ДМТФАФ близки. ТМТФАФ имеет наибольшую величину *D*, видимо, из-за наличия у него трех метильных радикалов в бензольном кольце, которые уменьшают кислотность карбонильного углерода. Коэффициент распределения для ГЭ *n*-ТФАБК, несмотря на наличие в нем цепочки C_7 , сопоставим с таковыми для *n*-МТФАФ и ДМТФАФ, что, возможно, обусловлено присутствием гидрофильной карбонильной группы, которая хуже экстрагируется гексаном.

В [1; 10] приведены результаты ИК-спектрометрических и потенциометрических исследований изменения во времени аналитических характеристик SO_4^{2-} -СЭ, содержащих в мембранах ГЭ *n*-ТФАБК. Обнаружено, что переход сольватирующей добавки в гидратную форму коррелирует с ухудшением аналитических характеристик электродов, т. е. исключается сольватация сульфат-ионов гидроксильными группами гидратной формы. Более вероятным представляется вывод, что сольватация сульфат-ионов происходит за счет ион-дипольного взаимодействия с карбонильным углеродом ГЭ *n*-ТФАБК.

Заключение

Проведено систематическое исследование гидратации ТФАФ и ряда его производных. Для *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ она протекает слабо, что, видимо, обусловлено стерическими препятствиями со стороны метильных радикалов, а также уменьшением кислотности карбонильного угле-

рода. Для ТФАФ гидратация протекает заметно только в щелочной среде, тогда как для ГЭ *n*-ТФАБК – независимо от среды. Установлено, что *n*-МТФАФ и ГЭ *n*-ТФАБК образуют кристаллические гидраты. ТФАФ обладает повышенной растворимостью в воде ($D = 415$) по сравнению с *n*-МТФАФ, ДМТФАФ, ТМТФАФ и ГЭ *n*-ТФАБК (D в пределах 1360–2700), что не позволяет рекомендовать его в качестве НП для изготовления мембран электродов.

Библиографические ссылки

1. Matveichuk Yu, Akayeu Ya, Rakhman'ko E. Hydration of *p*-trifluoroacetyl benzoic acid heptyl ester: how it affects analytical characteristics of sulphate selective electrodes based on higher quaternary ammonium salts. *Chemical Papers*. 2018;72(2):509–514. DOI: 10.1007/s11696-017-0294-5.
2. Lomako SV, Astapovich RI, Nozdrin-Plotnitskaya OV, Pavlova TE, Lei S, Nazarov VA, et al. Sulfate-selective and its application for sulfate determinations in aqueous solutions. *Analytica Chimica Acta*. 2006;562(2):216–222. DOI: 10.1016/j.aca.2006.01.047.
3. Matveichuk Yu, Rakhman'ko E, Akayeu Ya, Stanishevskii D. Ion-selective electrodes based on long-chain quaternary ammonium salts with enhanced steric accessibility, and their application for determination of hydrophilic double-charged inorganic anion. *Chemical Papers*. 2018;72(3):731–739. DOI: 10.1007/s11696-017-0320-7.
4. Егоров ВВ, Назаров ВА, Окаев ЕБ. Сульфатселективный электрод на основе ЧАС несимметричного строения и его применение в анализе биологических жидкостей (мочи). *Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География*. 2005;3:9–14.
5. Егоров ВВ, Назаров ВА, Окаев ЕБ, Павлова ТЕ. Новый сульфатселективный электрод и его применение в анализе. *Журнал аналитической химии*. 2006;61(4):416–422. DOI: 10.1134/S1061934806040150.
6. Antonisse MMG, Reinhoudt DN. Potentiometric Anion Selective Sensors. *Electroanalysis*. 1999;11(14):1035–1048. DOI: 10.1002/(SICI)1521-4109(199910)11.
7. Makarychev-Mikhailov S, Legin A, Mortensen J, Levitchev S, Vlasov Yu. Potentiometric and theoretical studies of the carbonate sensors based on 3-bromo-4-hexyl-5-nitrotrifluoroacetophenone. *Analyst*. 2004;129(3):213–218. DOI: 10.1039/b310560a.
8. Shim JH, Jeong IS, Lee MH, Hong HP, On JH, Kim KS, et al. Ion-selective electrodes based on molecular tweezer-type neutral carriers. *Talanta*. 2004;63(1):61–71. DOI: 10.1016/j.talanta.2003.12.050.
9. Барт ТЯ, Караван ВС, Грекович АЛ, Ампилогова НА, Юринская ВЕ, Никифоров ВА. Применение кислот Льюиса в мембранах пленочных ионоселективных электродов. *Журнал аналитической химии*. 1990;45(7):1364–1371.
10. Матвейчук ЮВ, Рахманько ЕМ, Окаев ЕБ. Ионоселективные электроды на основе высших четвертичных аммониевых солей, обратимые к двухзарядным неорганическим анионам. Минск: БГУ; 2018. 239 с.
11. Wang K, Seiler K, Haug J-P, Lehmann B, West S, Hartman K, Simon W. Hydration of trifluoroacetophenones as the basis for an optical humidity sensor. *Analytical Chemistry*. 1991;63(10):970–974. DOI: 10.1021/ac00010a007.
12. Stuart BH. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. New York: Wiley; 2004. 244 p.

References

1. Matveichuk Yu, Akayeu Ya, Rakhman'ko E. Hydration of *p*-trifluoroacetyl benzoic acid heptyl ester: how it affects analytical characteristics of sulphate selective electrodes based on higher quaternary ammonium salts. *Chemical Papers*. 2018;72(2):509–514. DOI: 10.1007/s11696-017-0294-5.
2. Lomako SV, Astapovich RI, Nozdrin-Plotnitskaya OV, Pavlova TE, Lei S, Nazarov VA, et al. Sulfate-selective and its application for sulfate determinations in aqueous solutions. *Analytica Chimica Acta*. 2006;562(2):216–222. DOI: 10.1016/j.aca.2006.01.047.
3. Matveichuk Yu, Rakhman'ko E, Akayeu Ya, Stanishevskii D. Ion-selective electrodes based on long-chain quaternary ammonium salts with enhanced steric accessibility, and their application for determination of hydrophilic double-charged inorganic anion. *Chemical Papers*. 2018;72(3):731–739. DOI: 10.1007/s11696-017-0320-7.
4. Egorov VV, Nazarov VA, Okaev EB. Sulfate selective electrode based on QAS of asymmetric structure and its application in analysis of biological liquids (urine). *Vestnik BGU. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya*. 2005;3:9–14. Russian.
5. Egorov VV, Nazarov VA, Okaev EB, Pavlova TE. [New sulfate selective electrode and its application in analysis]. *Zhurnal analiticheskoi khimii*. 2006;61(4):416–422. DOI: 10.1134/S1061934806040150. Russian.
6. Antonisse MMG, Reinhoudt DN. Potentiometric Anion Selective Sensors. *Electroanalysis*. 1999;11(14):1035–1048. DOI: 10.1002/(SICI)1521-4109(199910)11.
7. Makarychev-Mikhailov S, Legin A, Mortensen J, Levitchev S, Vlasov Yu. Potentiometric and theoretical studies of the carbonate sensors based on 3-bromo-4-hexyl-5-nitrotrifluoroacetophenone. *Analyst*. 2004;129(3):213–218. DOI: 10.1039/b310560a.
8. Shim JH, Jeong IS, Lee MH, Hong HP, On JH, Kim KS, et al. Ion-selective electrodes based on molecular tweezer-type neutral carriers. *Talanta*. 2004;63(1):61–71. DOI: 10.1016/j.talanta.2003.12.050.
9. Bart TYa, Karavan VS, Grekovich AL, Ampilogova NA, Yurinskaya VE, Nikiforov VA. [The use of Lewis acids in membranes of film ion-selective electrodes]. *Zhurnal analiticheskoi khimii*. 1990;45(7):1364–1371. Russian.
10. Matveichuk YuV, Rakhman'ko EM, Okaev EB. *Ionoselektivnye elektrody na osnove vysshikh chetvertichnykh ammonievyykh soley, obratimye k dvukhzaryadnym neorganicheskim anionam* [Ion-selective electrodes based on higher quaternary ammonium salts reversible to doubly charged inorganic anion]. Minsk: Belarusian State University; 2018. 239 p. Russian.
11. Wang K, Seiler K, Haug J-P, Lehmann B, West S, Hartman K, Simon W. Hydration of trifluoroacetophenones as the basis for an optical humidity sensor. *Analytical Chemistry*. 1991;63(10):970–974. DOI: 10.1021/ac00010a007.
12. Stuart BH. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. New York: Wiley; 2004. 244 p.

Статья поступила в редколлегию 26.11.2018.
Received by editorial board 26.11.2018.