

УДК 544.726 + 543.432

## ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ КАК ПЛАСТИФИКАТОРЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Н.В. Похвищева\*, М.А. Пешкова

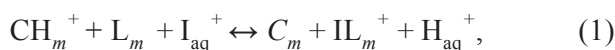
(Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета,  
кафедра физической химии; \*e-mail: n.v.pokhvisheva@gmail.com)

Ионные жидкости (ИЖ) успешно применяются во многих областях науки, в том числе для улучшения аналитических характеристик ионоселективных сенсоров, изготовленных на основе пластифицированной полимерной матрицы. Однако использование ИЖ в оптических полимерных сенсорах изучено недостаточно. В данной работе исследовано, как постепенная замена традиционного пластификатора на ИЖ в составе полимерной оптодной матрицы влияет на характеристики оптодного отклика. Продемонстрирован эффект смещения рабочего диапазона сенсора вследствие уменьшения константы ионного обмена при добавлении ИЖ. Также показана возможность использования ИЖ для создания сенсора индивидуальной ионной активности.

**Ключевые слова:** оптические сенсоры, ионоселективные датчики, ионные жидкости, пластификатор, рабочий диапазон отклика.

Полимерные оптические сенсоры, или оптоды, обладают высокой селективностью, низким пределом обнаружения, могут быть с легкостью миниатюризованы и использованы для удаленной регистрации сигнала. В связи с этим оптоды крайне перспективны для создания мультианалитных сенсорных платформ [1–3]. Объемные оптоды обычно имеют в своей основе полимерную матрицу (мембрану), в которой растворены активные компоненты: липофильные рН-индикаторы (хромоионофоры), ионофоры (лиганды), ионные добавки.

Механизм отклика катион-селективного оптода основан на ионном обмене между фазами раствора и мембраны:



где  $\text{CH}_m^+$  и  $\text{C}_m$  – соответственно протонированная и депротонированная формы хромоионофора в мембране,  $\text{L}_m$  – несвязанный ионофор в мембране,  $\text{IL}_m^+$  – комплекс ионофора с аналитом  $\text{I}^+$ ,  $\text{I}_{\text{aq}}^+$  и  $\text{H}_{\text{aq}}^+$  – ионы в водном растворе.

В таком случае уравнение оптодного отклика, связывающего измеряемую активность в растворе и аналитический сигнал, выглядит следующим образом:

$$\frac{a_{\text{I}}}{a_{\text{H}}} = \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right) (K_{\text{exch.}})^{-1} \frac{R_T - (1-\alpha)C_T}{L_T - [R_T - (1-\alpha)C_T]}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – сигнал оптода, определяемый обычно как доля депротонированной формы хромоионофора ( $\alpha = [C]/([C] + [\text{CH}^+])$ );  $C_T$ ,  $R_T$ ,  $L_T$  – брутто-

концентрация хромоионофора, ионной добавки и ионофора соответственно;  $K_{\text{exch.}}$  – константа равновесия (1), или константа ионного обмена, которая выражается следующим образом:

$$K_{\text{exch.}} = \frac{k_{\text{I}}}{k_{\text{H}}} K_a \beta_{\text{IL}}, \quad (3)$$

где  $k_{\text{I}}$ ,  $k_{\text{H}}$  – коэффициенты распределения Эйзенмана для иона  $\text{I}^+$  и протона соответственно,  $K_a$  – константа кислотности хромоионофора;  $\beta_{\text{IL}}$  – константа устойчивости комплекса ионофора с ионом  $\text{I}^+$ .

Оптоды, селективные к аниону  $\text{X}^-$ , функционируют за счет процесса необменной сорбции электролита  $\text{HX}$  из раствора полимерной сенсорной фазой.

По своему составу оптодные мембраны аналогичны полимерным мембранам ионоселективных электродов (ИСЭ). Большинство используемых в ИСЭ компонентов успешно применяются для создания оптических сенсоров, однако возможности использования многих новых веществ до сих пор раскрыты не полностью.

Ионные жидкости (ИЖ) находят широкое применение для решения разнообразных задач химического анализа [4]. Их используют для увеличения чувствительности ИСЭ, в качестве пластификатора для их мембран, а также в качестве добавки, стабилизирующей межфазный потенциал для создания твердоконтактных электродов сравнения [5–7]. В [6] предложены способы улучшения показаний таких электродов,

в частности, путем направленного изменения природы ИЖ. Основные требования для применения ИЖ в качестве пластификаторов были сформулированы в [8] (низкая температура стеклования и способность растворять активные компоненты). Возможности использования ИЖ в мембранах ИСЭ в целом хорошо изучены.

К сожалению, то же самое нельзя сказать о полимерных оптических сенсорах. Несомненно, в последнее время публикуется все больше работ, посвященных применению ИЖ в оптодах. В большинстве из них речь идет об усовершенствовании характеристик поверхностных газовых сенсоров с помощью ИЖ [9–16]. Взаимодействие газов с ИЖ было подробно рассмотрено в [17]. Добавка ИЖ позволила создать сенсоры с высокой чувствительностью к  $\text{CO}_2$  [9–13],  $\text{O}_2$  [14] и газообразному  $\text{NH}_3$  [15], некоторые из сенсорных композиций применялись впервые. Обзор [16] обобщает достижения в разработке сенсоров на основе ионных жидкостей, чувствительных к газообразному  $\text{CO}_2$ . Однако механизм отклика таких сенсоров коренным образом отличается от механизма отклика объемных оптодов, поэтому количественно оценить влияние ИЖ на отклик полимерного объемного сенсора невозможно. Некоторые шаги в этом направлении были сделаны в работах [18–21]. Здесь рассматривались системы, отклик которых основан как на ионном обмене [20], так и на необменной сорбции [18–21]. Ионная жидкость была использована не только как микрокомпонент, но и как составляющая матрицы, причем иногда она использовалась сразу в нескольких целях (например, как пластификатор и индикатор [18] или как пластификатор, индикатор и лиганд [21]). Полученные результаты сходны с результатами исследований газовых сенсоров с ИЖ: разработанные оптические сенсоры, обладающие высокой чувствительностью и широким линейным диапазоном, были успешно протестированы в реальных и искусственных образцах. Успехи применения ионных жидкостей для создания оптодов обобщены в обзоре [22].

Следует заметить, что литературные данные о поведении полимерных мембран, содержащих ИЖ, в некоторой степени противоречат друг другу. С одной стороны, электроды сравнения на основе ионных жидкостей демонстрируют стабильные значения потенциалов вне зависимости от состава раствора [5–7], что подразумевает подавление ионного обмена между фазами, а с другой стороны, оптоды, содержащие ИЖ, откликаются на целевой аналит

[18–22]. Кроме того, роль ИЖ в оптическом отклике не изучалась систематически, в большинстве работ рассматривается единственная сенсорная система, содержащая ИЖ. Нами была поставлена задача исследовать поведение полимерных оптических сенсоров в зависимости от содержания ионной жидкости в полимерной матрице и количественно оценить возможность применения ИЖ для управления характеристиками оптодного отклика.

### Экспериментальная часть

**Материалы и оборудование.** Для приготовления сенсорных мембран использованы хромоионофор ЕТН2439 (9-(диэтиламино)-5-[4-(16-бутил-2,14-диоксо-3,15-(диоксаэйкозил)фенилимино]-бензо[а]феноксазин); нейтральный натриевый ионофор X (NaX, тетраэтиловый эфир 4-трет-бутилкаликс[4]арен-тетрауксусной кислоты); катионообменная добавка тетракис(4-хлорфенил)борат калия (КТрСІРВ); пластификатор бис(2-гексилэтиловый)эфир себаценовой кислоты (DOS), ионная жидкость 1-гексил-3-метил-1Н-имидазол-3-ия бис[(трифторметил)сульфонил]азанид ( $\text{C}_6\text{MeimNTf}_2$ ), тетрагидрофуран (ТНФ) и поливинилхлорид с высокой молекулярной массой (PVC). Все перечисленные реактивы производства фирмы «Fluka» (Швейцария), класс Selectophore Grade. В работе использованы также 4-(2-гидроксиэтил)-1-пиперазинэтансульфоновая кислота (HEPES) и неорганические электролиты («Реактив», Россия, «ч.д.а.»).

Для приготовления водных растворов применяли деионизованную воду («Milli-Q Reference», «Millipore», Франция). В качестве буферной системы использовали 0,01 М раствор HEPES. Кислотность образцов регулировали, добавляя аликвоты 1 М раствора HCl или КОН. Значения pH растворов измеряли с помощью стеклянного электрода «ЭСЛ 43-07», насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения («Измеритель», Гомель, Беларусь) и pH-метра/иономера («Эко-тест-120», Россия).

Регистрацию аналитического сигнала (цвета) проводили с помощью стереомикроскопа «МСП-2» («ЛОМО», Россия) с встроенной цифровой камерой, подключенной к компьютеру.

**Получение полимерных оптодов.** Оптодную композицию с массой сухого вещества 50 мг готовили растворением необходимого количества ПВХ и пластифицирующей смеси с разным содержанием ИЖ (массовое соотношение ПВХ и пластифицирующей смеси

составляло 1:2) в ТГФ. После этого добавляли индикатор (10 ммоль/кг пластификатора), нейтральный ионофор (100 ммоль/кг), ионную добавку (90 ммоль/кг). Для регистрации сигнала жидкую сенсорную композицию наносили в углубления стеклянной подложки (диаметр 1 мм, глубина 0,2 мм) с помощью либо микродозатора (0,1–2,5 мкл, «Biohit», Финляндия), либо хроматографического шприца (1 мкл, «Agilent Technologies», США) В каждое углубление помещали 0,1 мкл состава. После испарения растворителя получались прозрачные окрашенные мембраны толщиной 10–12 мкм.

#### **Регистрация сигнала и обработка данных.**

Фотографии оптодов были получены в затемненной комнате при симметричном освещении лампами накаливания (Natural light, 60 W, «Philips»). Положение микроскопа и источников света оставалось постоянным в течение всего эксперимента. Массив оптодов (24 индивидуальные мембраны) фотографировали сверху после 10 минут контакта с 0,2–0,5 мл раствора образца. Для обработки полученных изображений использовали программное обеспечение ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>). Цвет каждого пикселя выделенного участка фотографии, соответствующего по площади поверхности сенсора, раскладывался на красную (*R*), зеленую (*G*) и синюю (*B*) компоненты цвета, которые затем усреднялись по всей площади оптода. Данные о средней интенсивности каждого цвета были нормализованы по стандарту белого, изготовленному в лаборатории и представляющему собой суспензию микрочастиц тефлона («Schaff Piano Supply Company», США) в пластифицированном ПВХ для компенсации флуктуаций освещенности. В качестве сигнала было выбрано соотношение нормализованных интенсивностей красной и зеленой компонент ( $R_w/G_w$ ). Обработку экспериментальных данных проводили с помощью OriginPro 9.0, применяя пользовательские функции для фитинга. Для анализа оптодного отклика и его характеристик использовали программное обеспечение MAPLE 2016.

#### **Результаты и обсуждение**

Для того чтобы оценить, как влияет содержание ИЖ в оптодной мембране на аналитические характеристики сенсора, были приготовлены и исследованы композиции с одинаковым содержанием активных микрокомпонентов, в которых для пластифицирования полимерной матрицы использовали смесь традиционного пластифи-

катора ДОС и ионной жидкости  $C_6MeimNTf_2$ . В качестве микрокомпонентов были выбраны хромоионофор ЕТН 2439 ( $pK_a(DOS) = 10,2$  [23, 24]), ионофор Na X ( $\log\beta_{IL}(DOS) = 7,56$  [25]) и катионообменная добавка КТрСІРВ.

Поскольку количественный состав всех исследованных композиций одинаков, очевидно, что все наблюдаемые в оптодном отклике эффекты будут вызваны изменением константы ионного обмена за счет изменения констант кислотности и связывания парного иона (3). Зависимости оптического сигнала оптодов с разным содержанием ИЖ от pH при постоянной фоновой концентрации NaCl и от активности ионов натрия при фиксированном pH раствора приведены на рис. 1, А, Б. На рис. 1, В представлен усредненный по всем пикселям цвет оптодов, содержащих разное количество ионной жидкости в составе пластифицирующей смеси, в одном и том же растворе.

На рис. 1, А показан сдвиг рабочего диапазона оптодов при увеличении содержания ИЖ в сенсорной мембране в сторону более щелочных растворов. Одновременно происходит постепенное снижение амплитуды и, соответственно, чувствительности оптодного отклика, при этом даже при высоком (до 80%) содержании ИЖ в пластифицирующей смеси величина амплитуды отклика остается в аналитически значимых пределах. Напротив, рис. 1, Б демонстрирует резкое падение амплитуды отклика при введении в состав оптода ионной жидкости, и уже при содержании ИЖ более 30% аналитический сигнал практически перестает зависеть от активности натрия в растворе. Количественные характеристики оптодного отклика, а также рассчитанные эффективные константы обмена для оптодов с разным содержанием ИЖ приведены в таблице.

Количественные данные, представленные в таблице, соответствуют тенденциям, отраженным на рис. 1, А, Б (даже при максимальном содержании ИЖ (100%) амплитуда pH-отклика в два раза выше, чем в случае натриевой функции). Зависимость медианы оптодного отклика от содержания ИЖ в полимерной фазе представлена на рис. 2.

На основании зависимостей оптического сигнала от pH, полученных по формуле (2), были рассчитаны значения эффективной константы ионного обмена оптодов с разным содержанием ИЖ. Предполагалось, что достигаются предельные значения сигнала  $\alpha$ , т.е. хромоионофор в оптоде способен полностью протонироваться ( $\alpha = 0$ )

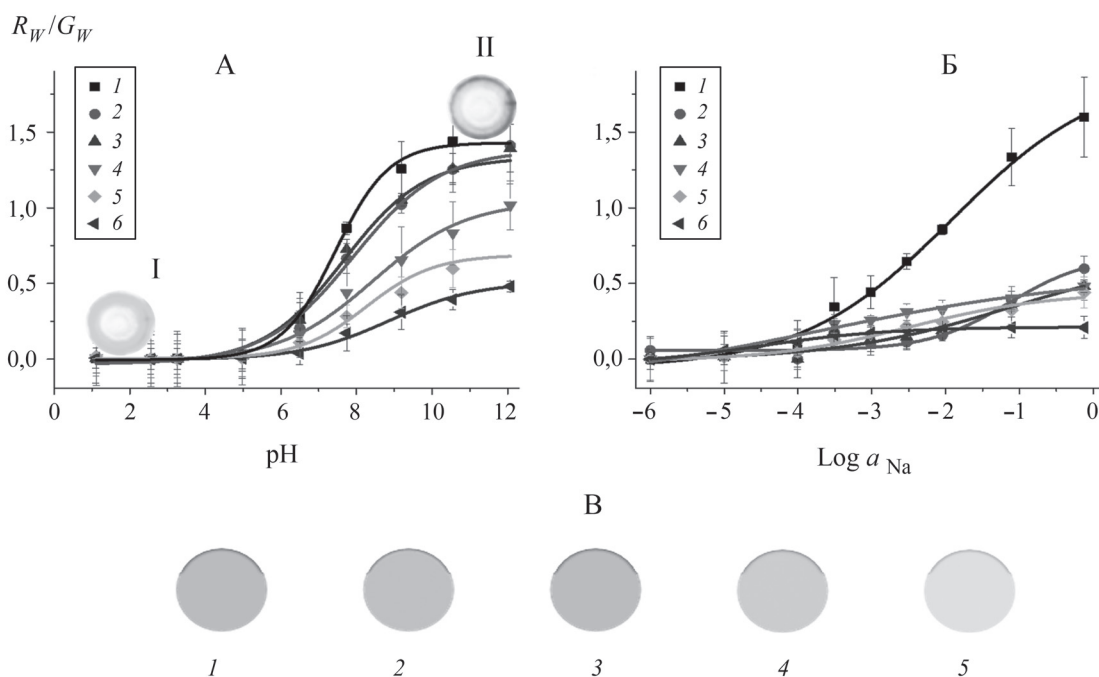


Рис. 1. Зависимость сигнала оптодов: А – от рН при фоновой концентрации NaCl  $10^{-3}$  М, на фотографиях полностью протонированный оптод (I), полностью депротонированный оптод (II) с содержанием ИЖ 45%; Б – зависимость сигнала оптодов от активности ионов натрия при фоновом значении рН 6,5. Содержание ИЖ в пластифицирующей смеси, %: 1 – 0, 2 – 31, 3 – 45, 4 – 64, 5 – 78, 6 – 100; В – усредненный цвет оптодов, содержащих разное количество ионной жидкости, %: 1 – 0, 2 – 31, 3 – 45, 4 – 64, 5 – 78 (символы – экспериментальные данные, линии – фитинг сигмоидной функцией, во всех случаях усреднение проводилось по 4 оптодам идентичного состава)

и депротонироваться ( $\alpha = 1$ ) (таблица, рис. 2). Тенденция к уменьшению константы обмена с увеличением содержания ИЖ соответствует изменению середины рабочего диапазона оптода в сторону более высоких значений рН (рис. 2) и согласуется с (2). Из этого следует, что при

фиксированном содержании катиона  $I^+$  в растворе наблюдается следующая закономерность: чем ниже значение константы обмена, тем более низкая активность протона доступна для измерения. Таким образом, увеличение содержания ИЖ в сенсоре приводит к уменьшению констан-

**Характеристики отклика сенсоров, содержащих разное количество ионной жидкости в составе пластифицирующей смеси (значения приведены для градуировки по рН, если не указано иначе)**

Содержание ИЖ в пластифицирующей смеси, %	Амплитуда отклика		Медиана отклика (ед. Ph)	Чувствительность (наклон линейной части отклика)	$\text{Log}(K_{\text{exch.}}^{\text{eff.}})$
	градуировка по рН (рис. 1, А)	градуировка по $\text{Na}^+$ (рис. 1, Б)			
0	1,43	1,96	$7,44 \pm 0,08$	0,49	$-4,8 \pm 0,2$
31	1,42	0,63	$7,92 \pm 0,10$	0,30	$-5,2 \pm 0,1$
45	1,36	0,71	$7,67 \pm 0,09$	0,31	$-5,0 \pm 0,1$
64	1,06	0,77	$8,43 \pm 0,08$	0,21	$-5,8 \pm 0,1$
78	0,69	0,46	$8,26 \pm 0,09$	0,18	$-5,6 \pm 0,2$
100	0,51	0,25	$8,86 \pm 0,11$	0,11	$-6,2 \pm 0,3$



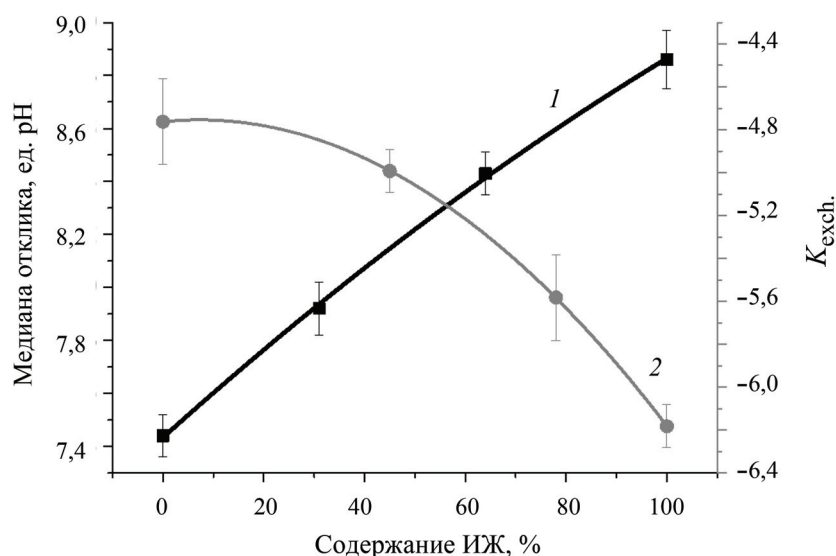


Рис. 2. Зависимость середины рабочего диапазона (1) и константы обмена оптода (2) от содержания в нем ИЖ

ты обмена. Рассмотрим возможные причины возникновения этого эффекта.

При замене классического неполярного пластификатора на ИЖ изменяются две важнейшие характеристики среды, в которой происходят межчастичные взаимодействия – вязкость, влияющая на коэффициенты диффузии частиц в мембране, и полярность полимерной фазы. В работах [26, 27] была продемонстрирована обратная пропорциональность вязкости и ионной проводимости ИЖ, от которой, в свою очередь, напрямую зависит скорость диффузии заряженных частиц. Таким образом, изменение вязкости сенсорной фазы, очевидно, будет проявляться в изменении времени отклика оптодов, изучение которого представляется темой для отдельного исследования.

Изменение полярности сенсорной фазы, связанное с увеличением содержания в ней сильнополярной ИЖ, проявляется в двух наблюдаемых эффектах. Во-первых, происходит уменьшение амплитуды оптического отклика при повышении содержания ИЖ в полимерной фазе, которое связано, в частности, со сдвигом максимума поглощения одной из форм хромоионофора за пределы видимой области спектра. Зависимость положения максимума поглощения органических красителей от полярности растворителя известна давно, при этом для красителей, растворенных в ионной жидкости, был обнаружен батохромный сдвиг пиков поглощения при увеличении полярности [28]. Во-вторых, изменение полярности полимерной фазы проявляется в уменьшении константы обмена исследованных

оптодов. Согласно (3), уменьшение константы обмена может быть вызвано уменьшением констант кислотности и/или комплексообразования. Известно, что константа кислотности уменьшается при повышении полярности фазы [23], того же можно ожидать и в отношении констант устойчивости комплексов ион – ионофор. В нашем случае добавление такого сильнополярного растворителя, как ИЖ, к относительно неполярному пластификатору бис(гексилэтил)себацинату ( $\epsilon = 4$ ), очевидно, приводит к существенному росту полярности полимерной сенсорной матрицы. Таким образом, полученные нами данные представляются вполне самосогласованными. Стоит отметить, что в случае функционирования оптодов по принципу необменной сорбции, увеличение полярности пластификатора вызывает повышение селективности сенсоров к гидрофильным анионам [24], однако в случае катион-селективных оптодов, работающих по механизму ионного обмена, подобного эффекта не наблюдается.

Аналогичный вывод об изменении константы обмена можно сделать, анализируя сдвиг натриевой функции изученных оптодов (рис. 1, Б). Однако здесь доминирующий эффект замены пластификатора ионной жидкостью состоит не столько в изменении рабочего диапазона, сколько в значительном уменьшении амплитуды отклика. Это связано с тем, что ИЖ, будучи электролитом умеренной липофильности, равномерно распределяется между полимерной и водной фазами, внося существенный вклад в формирование на межфазной границе постоян-

ной разности Гальвани-потенциалов. Подобные системы были изучены и описаны в [29], где показано, что введение умеренно липофильных электролитов в состав оптода подавляет отклик сенсоров на парный ион (в данном случае катион  $I^+$ ). Таким образом, индивидуальная ионная активность (в данном случае протона) становится доступной для независимого измерения с применением ряда общепринятых внетермодинамических допущений [29], хотя в существующем упрощенном описании оптодного отклика фигурирует соотношение (2), либо произведение значений ионной активности пары ионов [25]. Полученный результат – оптод, применимый для измерения активности индивидуального ионного аналита. Он аналогичен по значимости и сфере использования гальваническим ячейкам с жидкостным соединением, давно и широко применяющимся в потенциометрии.

### Выводы

Полученные в результате проведенного исследования кривые отклика оптических сенсоров с разным содержанием ИЖ в мембране позволяют сделать вывод о существенном влиянии

ионной жидкости как на положение, так и на амплитуду оптического отклика. Первый эффект, который заключается в смещении рабочего диапазона сенсоров при добавлении ИЖ, может быть использован для направленной оптимизации области измеряемой концентрации и создания датчиков, функционирующих в заданном конкретной аналитической задачей диапазоне содержаний аналита. Второй эффект, выраженный в резком подавлении отклика оптода на парный ион при внесении ИЖ в мембрану, позволяет создать оптоды, чувствительные к индивидуальной ионной активности. Это более целесообразно для применения оптических сенсоров на практике, чем искусственное закрепление активности парного иона в определяемом образце.

Авторы благодарят канд. хим. наук Е.В. Алопину (Санкт-Петербургский университет) за предоставленную ионную жидкость.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18–73–00109).

Конфликта интересов нет.

Дополнительных материалов нет.

Дополнительной информации нет.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wencel D., Abel T., McDonagh C. // *Anal. Chem.* 2014. Vol. 86. N 1. P. 15.
2. Xiaojiang X., Bakker E. // *Anal Bioanal. Chem.* 2015. Vol. 407. N 14. P. 3899.
3. Mikhelson K.N., Peshkova M.A. // *Russ. Chem. Rev.* 2015. Vol. 84. N 6. P. 555.
4. Pletnev I.V., Smirnova S.V., Egorov V.M. Liquid-liquid extraction of organic compounds. Ionic liquids in chemical analysis: analytical chemistry. (1 edition). Ed. M. Koel. Boca Raton, 2008. P. 243.
5. Zuliani C., Matzeu G., Diamond D. // *Talanta.* 2014. Vol. 125. P. 58.
6. Cicmil D., Anastasova S., Kavanagh A., Diamond D., Mattinen U., Bobacka J., Lewenstam A., Radu A. // *Electroanalysis.* 2011. Vol. 23. P. 1881.
7. Zhang T., Lai Chun-Ze, Fierke M.A., Stein A., Bühlmann P. // *Anal. Chem.* 2012. Vol. 84. P. 7771.
8. Kavanagh A., Byrne R., Diamond D., Fraser K.J. // *Membranes.* 2012. Vol. 2. N 1. P. 16.
9. Fernández-Ramos M.D., Aguayo-López M.L., Pérez de Vargas-Sansalvador I., Capitán-Vallvey L.F. // *Analytical and Bioanalytical Chemistry.* 2018. Vol. 410. P. 5931.
10. Perez de Vargas-Sansalvador I., Erenas M.M., Diamond D., Quilty B., Capitán-Vallvey L.F. // *Sens. Actuat. B.* 2017. Vol. 253. P. 302.
11. Borisov S.M., Waldhier M.Ch., Klimant I., Wolfbeis O.S. // *Chem. Mater.* 2007. Vol. 19. N 25. P. 6187.
12. Oter O., Ertekin K., Topkaya D., Alp S. // *Sens. Actuat. B.* 2006. Vol. 117. P. 295.
13. Wu J., Yin M., Seefeldt K., Dani A., Guterman R., Yuan J., Zhang A.-P., Tam H.-Y. // *Sens. Actuat. B.* 2018. Vol. 259. P. 833.
14. Oter O., Ertekin K., Derinkuyu S. // *Materials Chemistry and Physics.* 2009. Vol. 113. P. 322.
15. Gao L., Yang X., Shu Y., Chen X., Wang J. // *Journal of Colloid and Interface Science.* 2018. Vol. 512. P. 819.
16. Behera K., Pandey S., Kadyan A., Pandey S. // *Sensors.* 2015. Vol. 15. P. 30487.
17. Lei Z., Dai C., Chen B. // *Chem. Rev.* 2014. Vol. 114. P. 1289.
18. Mizuta T., Sueyoshi K., Endo T., Hisamoto H. // *Sens. Actuat. B.* 2018. Vol. 258. P. 1125.
19. Absalan G., Asadi M., Kamran S., Torabi S., Sheikhan L. // *Sens. Actuat. B.* 2010. Vol. 147. P. 31.
20. Zhu J., Zhai J., Li X., Qin Y. // *Sens. Actuat. B.* 2011. Vol. 159. P. 256.
21. Kavanagh A., Byrne R., Diamond D., Radu A. // *Analyst.* 2011. Vol. 136. P. 348.
22. Muginova S., Myasnikova D., Kazarian S., Shekhovtsova T. // *Anal. Sciences.* 2014. Vol. 33. P. 261.
23. Bakker E., Lerchi M., Rosatzin T., Rusterholz B., Simon W. // *Analytica Chimica Acta.* 1993. Vol. 278. P. 211.
24. Qin Y., Bakker E. // *Talanta.* 2002. Vol. 58. N 5. P. 909.
25. Bakker E., Pretsch E. // *Anal. Chem.* 1998. Vol. 70. N 2. P. 295.
26. Бурмистр М.В., Свердликовская О.С., Бурмистр О.М., Феденко О.А. // *Вестн. Удмуртского ун-та.* 2012. Вып. 1. С. 55.

27. Noda A., Susan Md.A.B.H., Kudo K., Mitsushima Sh., Hayamizu K., Watanabe M. // J. Phys. Chem. 2003. Vol. 107. N 17. P. 4024.
28. Mudring A.-V. // Top. Curr. Chem. 2009. Vol. 290. P. 285.
29. Stashkova A.E., Peshkova M.A. Mikhelson K.N. // Sens. Actuat. B. 2015. Vol. 207. P. 346.

Поступила в редакцию 10.09.2019  
Получена после доработки 12.10.2019  
Принята к публикации 14.11.2019

## IONIC LIQUID PLASTICIZED OPTODES

N.V. Pokhvishcheva\*, M.A. Peshkova

*(Institute of Chemistry of Saint Petersburg State University; Department of Physical Chemistry; \*e-mail: n.v.pokhvishcheva@gmail.com)*

**Ionic liquids (ILs) are successfully implemented in various fields of science including improvement of analytical characteristics of ion-selective sensors based on polymeric plasticized matrices. However, utilization of ILs in optical sensors has not been studied extensively thus far. In this contribution, we demonstrate how gradual replacement of the conventional plasticizer by an ionic liquid affects optical response characteristics. The shift of the sensor dynamic range originating from the ion exchange constant decrease upon adding the IL was observed. The possibility of developing IL-based optical sensors of individual ionic activity was demonstrated as well.**

**Key words:** optical sensors; ion-selective sensors; ionic liquids; plasticizer; sensor dynamic range.

**Сведения об авторах:** *Похвищева Надежда Викторовна* – магистрант Института химии Санкт-Петербургского государственного университета (n.v.pokhvishcheva@gmail.com); *Пешкова Мария Анатольевна* – доцент кафедры физической химии Института химии Санкт-Петербургского государственного университета, канд. хим. наук (m.peshkova@spbu.ru).