

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАНОПОРИСТОЙ ТРЕКОВОЙ МЕМБРАНЫ ДИАЛЛИЛДИМЕТИЛАММОНИЯ ХЛОРИДОМ

Д.Ю. Бутыльский<sup>1</sup>, П.Ю. Апель<sup>2</sup>, К.Г. Саббатовский<sup>3</sup>, В.А. Троицкий<sup>1</sup>, М.А. Пономарь<sup>1</sup>,

В.В. Никоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия*

<sup>2</sup>*Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований (ЛЯР ОИЯИ), Дубна, Московская область, Россия*

<sup>3</sup>*Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия*

Электробаромембранный метод, также известный как метод противоточной электромиграции, может быть эффективно использован для разделения ионов с зарядами, одинаковыми по величине и знаку, такими как  $\text{Li}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+/\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и др. Интерес к данному методу в последние годы вырос, что объясняется появлением современных нанопористых мембран, в том числе трековых мембран (ТМ) [1]. Ранее нами уже была доказана эффективность использования трековых мембран в электробаромембранном методе разделения [1–3] ионов  $\text{K}^+/\text{Li}^+$  и  $\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{PO}_4^-$  с использованием ТМ #811. Моделирование переноса ионов в электромембранной системе с трековыми мембранами с использованием одномерной математической модели [4] позволило выявить неожиданные особенности механизма переноса ионов через трековые мембраны. Вклад электроосмотического переноса в результирующий транспорт ионов оказался существенно выше, чем считалось ранее [4]. Известно, что этим свойством можно управлять при варьировании заряда стенок пор, их структуры и размера [5].

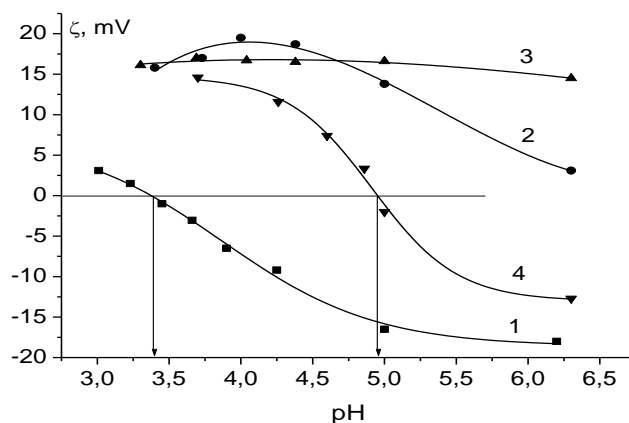
Трековые мембраны содержат концевые –ОН группы (диссоциирует только при очень высоких рН) и –СООН группы (диссоциируют при рН > 4) [6]. В результате рыхлый слой, окружающий пору в мембране, обладает катионообменными свойствами и влияет на эффективность разделения в результате проявления исключения Доннана. Следовательно, модифицирование трековых мембран с целью изменения заряда поверхности пор может увеличить эффективность их применения в электробаромембранном методе.

В данной работе проведена модификация трековой мембраны ТМ#811. В качестве модификатора применяли полидиметилдиалиламмония хлорид, полиДАДМАХ, (2.5% раствор, Sigma-Aldrich) при различных рН раствора, а также сополимер ДАДМАХ и акриловой кислоты (2.5% раствор, Career Henan Chemical Co.) с целью придания полученным материалам высокой плотности положительного поверхностного электрического заряда в растворах электролитов. В таблице 1 представлены условия модифицирования образцов.

**Таблица 1.** Условия модифицирования ТМ #811

	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Условия получения образца	Исходная ТМ #811	Объемное модифицирование ТМ#811 полиДАДМАХ (рН = 4.1)	Объемное модифицирование ТМ#811 полиДАДМАХ (рН = 8.0)	Объемное модифицирование образца 2 сополимером ДАДМАХ и акриловой кислоты (рН = 2.3)

Электрокинетические параметры ТМ были получены в зависимости от рН в 0.01 М растворе КСl в режиме тупиковой фильтрации (фильтрация через мембрану) как описано в [7]. Результаты продемонстрированы на рисунке 1. Как видно из полученных данных, с увеличением рН раствора дзета-потенциал ( $\zeta$ ) для ТМ#811 снижается с 3.1 до -18 мВ, что связано с депротонированием карбоксильных групп на поверхности пор. Такое поведение характерно для полиэтилентерефталатных мембран с фиксированными -COOH группами. Дзета-потенциал модифицированных образцов в каждом случае выше, чем для исходной мембраны, что связано со введением в мембрану  $-NR_3^+$  фиксированных групп. Подобный эффект наблюдался нами в работе [8] для анионообменной мембраны также модифицированной сополимером ДАДМАХ с акриловой кислотой. Наиболее перспективным из полученных модифицированных образцов является образец 3, для которого наблюдается отсутствие зависимости  $\zeta$  от рН. Это связано с тем, что вводимые четвертичные аминогруппы не вступают в реакции протонирования/депротонирования в отличие от -COOH групп в исходной мембране.



**Рисунок 1.** Зависимость дзета-потенциала на поверхности пор исходной и модифицированных ТМ от рН прокачиваемого раствора 0.01М КСl

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-49-00217.**

Литература:

1. *Butylskii D.Y., Dammak L., Larchet C., Pismenskaya N.D., Nikonenko V. V.* // Russ. Chem. Rev. 2023. Vol. 92. № 4. P. RCR5074.
2. *Butylskii D.Y., Pismenskaya N.D., Apel P.Y., Sabbatovskiy K.G., Nikonenko V.V.* // J. Memb. Sci. 2021. Vol. 635. P. 119449.
3. *Butylskii D., Troitskiy V., Chuprynina D., Kharchenko I., Ryzhkov I., Apel P., Pismenskaya N., Nikonenko V.* // Membranes (Basel). 2023. Vol. 13. № 5. P. 455.
4. *Kislyi A.G., Butylskii D.Y., Mareev S.A., Nikonenko V. V.* // Membr. Membr. Technol. 2021. Vol. 3. № 2. P. 131–138.
5. *Li W., Shi C., Zhou A., He X., Sun Y., Zhang J.* // Sep. Purif. Technol. 2017. Vol. 186. P. 233–242.
6. *Apel P.Y.* // Encyclopedia of Membrane Science and Technology. Wiley, 2013. P. 1–25.
7. *Sabbatovskii K.G., Vilenskii A.I., Sobolev V.D., Kochnev Y.K., Mchedlishvili B. V.* // Colloid J. 2012. Vol. 74. № 3. P. 328–333.
8. *Butylskii D.Y., Troitskiy V.A., Ponomar M.A., Moroz I.A., Sabbatovskiy K.G., Sharafan M. V.* // Membranes. 2022. Vol. 12. № 11. P. 1065.