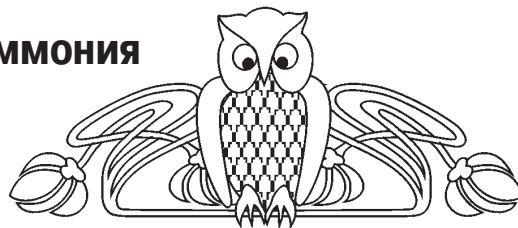




УДК 543:615.33

## Транспортные свойства мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим

Е. Г. Кулапина, М. С. Тютликова, Р. К. Мурсалов



Кулапина Елена Григорьевна, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, kulapinaeg@mail.ru

Тютликова Маргарита Сергеевна, магистр Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, rita\_tjutlikova@mail.ru

Мурсалов Руслан Кямранович, студент Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ruslan.mursalov2011@yandex.ru

Исследованы транспортные свойства пластифицированных поливинилхлоридных мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока при варьировании концентрации электродно-активных веществ (0,5; 1; 2; 3%), внешних растворов, контактирующих с мембранами ( $10^{-2}$ – $10^{-7}$  М). Установлено, что сопротивление мембран зависит от содержания электродно-активных веществ (ЭАВ) и концентрации примембранных растворов цефотаксима. При увеличении концентрации электродно-активных компонентов сопротивление мембран уменьшается, что связано с возрастанием количества ионообменных центров в фазе мембраны. Исследуемые мембраны характеризуются устойчивыми токами проводимости в течение продолжительного времени. Стационарные значения потенциалов устанавливаются через 50 мин после начала измерения. Величина падения напряжения на мембранах остается постоянной при изменении направления тока. Это указывает на то, что происходит обратимый ионный обмен на границе мембрана – раствор антибиотика. Показано, что введение модификаторов (полианилина и наночастиц NiZnFeO) уменьшает сопротивление мембран, что связано с увеличением их проводимости. Оценены проницаемость и потоки ионов антибиотиков в мембранах: данные характеристики не являются постоянными и специфическими свойствами мембран; они зависят от природы и типа диффундирующих частиц.

**Ключевые слова:** транспортные свойства, мембраны, цефотаксим, тетрадециламмоний бромид, комплексные соединения серебра (I).

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>

### Введение

Процессы переноса ионов в мембранах являются достаточно сложными. Они всегда со-

провождаются сорбцией ионов или молекул на поверхности и включают собственно перенос и десорбцию. В основе процессов переноса ионов в растворах и в ионообменных материалах лежит механизм диффузии [1].

Большое количество работ посвящено теоретическому исследованию процессов переноса через ионообменные и биполярные мембраны на основе уравнения Нернста – Планка – Пуассона [2, 3]. Исследователи в основном изучают ионный транспорт через пограничный диффузионный слой. Толщина диффузионного пограничного слоя составляет от десятков до сотен микрометров в зависимости от гидродинамических условий в электрохимической ячейке.

Авторами [4] оценены основные характеристики мембранного транспорта гомологов алкилпиридиния через пластифицированные поливинилхлоридные и наночистратационные мембраны (молекулярные сита) в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока. При этом рассчитывали коэффициенты диффузии, проницаемости, потоки ионов, селективность, сорбционную емкость, степень обогащения при варьировании концентрации активных компонентов и примембранных растворов.

Электрическое сопротивление мембран возможно уменьшить путем введения в мембрану различных модификаторов. Перспективной является модификация высокомолекулярных мембран наноразмерными частицами, наиболее простой путь – введение нанодисперсных частиц в раствор, из которого впоследствии получают мембраны [5]. В качестве модификаторов мембран сенсоров используется токопроводящий полимер – полианилин (ПАНИ) [6, 7], наночастицы [8]. Электронная проводимость полианилина обусловлена подвижностью делокализованных  $\pi$ -электронов в сопряженной структуре полимера. Авторами [9] проведен синтез наночастиц переходных металлов серебра и меди в матрице мембраны МФ-4СК (ООО



«Пластполимер», обменная емкость 1 мг-экв/г, толщина 98 мкм), а также исследовано влияние внедренных частиц на транспортные свойства мембраны. Установлено, что введение частиц металлов в матрицу по-разному сказывается на транспортных свойствах мембран в зависимости от способа получения композита.

Модификация мембранных композиций способствует улучшению их транспортных свойств: увеличиваются скорость диффузии и поток ионов, изменяется селективность, снижается сопротивление мембран [6–9].

В последние годы интенсивно исследуются процессы переноса веществ через ионообменные мембраны. Изучение сопротивления мембран в условиях постоянного тока является основой в формировании представлений о механизме переноса иона внутри нее и на границе раздела мембрана – раствор, позволяет объяснить ионную селективность мембран и закономерности функционирования селективных электродов на их основе [4, 10].

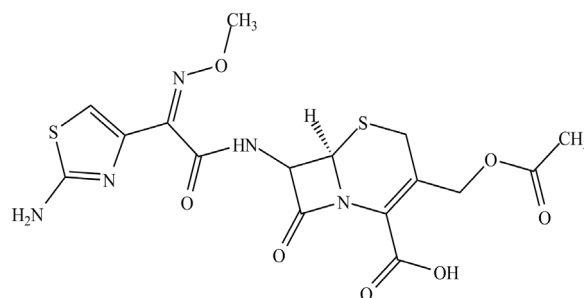
Пластифицированные ионообменные мембраны часто применяются при создании потенциометрических сенсоров, чувствительных к антибиотикам [11]. Такие мембраны характеризуются достаточной простотой изготовления, хорошей селективностью и высоким электрическим сопротивлением (порядка 1–5 МОм).

Цефотаксим – цефалоспориновый антибиотик III поколения, широко используется в медицинской практике для лечения различных инфекционно-соматических патологий [10]. Для определения цефотаксима в водных и биологических средах предложены твердоконтактные потенциометрические сенсоры [12]; при этом не изучены транспортные процессы в мембранах.

В настоящей работе исследованы транспортные свойства немодифицированных и модифицированных пластифицированных поливинилхлоридных мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока при варьировании концентрации электродно-активных соединений и примембранных растворов антибиотиков.

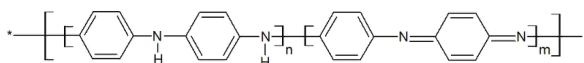
#### Экспериментальная часть

• Цефотаксим — цефалоспориновый антибиотик III поколения (Ceftx). Коммерческое название препарата *Цефотаксим*; производство ОАО «Биосинтез» (г. Пенза).



• Раствор цефотаксима  $1 \cdot 10^{-2}$  М готовили путем растворением навески препарата в дистиллированной воде; рабочие растворы с концентрациями  $1 \cdot 10^{-2}$ ;  $1 \cdot 10^{-3}$ ;  $1 \cdot 10^{-4}$ ;  $1 \cdot 10^{-7}$  М – последовательным разбавлением исходных растворов.

• Полианилин. (Эмеральдин, Турция); наночастицы NiZnFeO.



• Растворы хлорида натрия  $1 \cdot 10^{-1}$  М и нитрата серебра  $1 \cdot 10^{-2}$  М готовили растворением точных навесок в дистиллированной воде.

• Тетрадециламмоний бромид  $[(C_{10}H_{21})_4N]Br$  (ТДА) с концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  М готовили растворением навески массой 0,0329 г в 5 мл хлороформа.

• В качестве ЭАВ для мембран, селективных к цефотаксиму, использовали ассоциаты тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим  $[Ag(Ceftx)_2]TDA$ ;  $C_{зав} = 0; 0,5; 1; 2; 3\%$ .

Синтез ЭАВ, получение мембран проводили согласно [12].

ЭДС цепи измеряли с помощью иономера И-160 МП при температуре  $20 \pm 3^\circ C$  (погрешность измерения ЭДС  $\pm 1$  мВ); электрод сравнения – стандартный хлоридсеребряный ЭВЛ-1М (ХСЭ). Измерения ЭДС в анализируемых растворах проводили от меньшей концентрации к большей. Для ускорения достижения постоянного потенциала внешний раствор перемешивали на магнитной мешалке.

**Транспортные свойства мембран** изучали методом приложенного потенциала и диффузионного массопереноса [4]. Ячейка представляла собой цилиндр, состоящий из двух равных отсеков, между которыми наклеена мембрана диаметром 1 см.

**Определение сопротивления мембран методом приложенного потенциала.** Измерения напряжения проводили на мультиметре



DT9202A, силы тока – на микроамперметре М244 для мембран, содержащих  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА различных концентраций. В отсек с анодным электродом помещался раствор антибиотика с меньшей концентрацией  $C=1 \cdot 10^{-7}$  М, а с катодным – раствор с большей концентрацией ( $1 \cdot 10^{-2}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$  М). Серия растворов в пробирках на 10 мл была приготовлена из стандартного

раствора цефотаксима  $C=1 \cdot 10^{-2}$  М. Исследовали мембраны с разным содержанием ЭАВ (0,5–3%).

Напряжение на мембранах при прохождении тока регистрировали с помощью двух электродов сравнения, подключенных к мультиметру DT9202A и последовательно подключенному микроамперметру М244. Источником поляризации служил гальваностат (рис. 1).

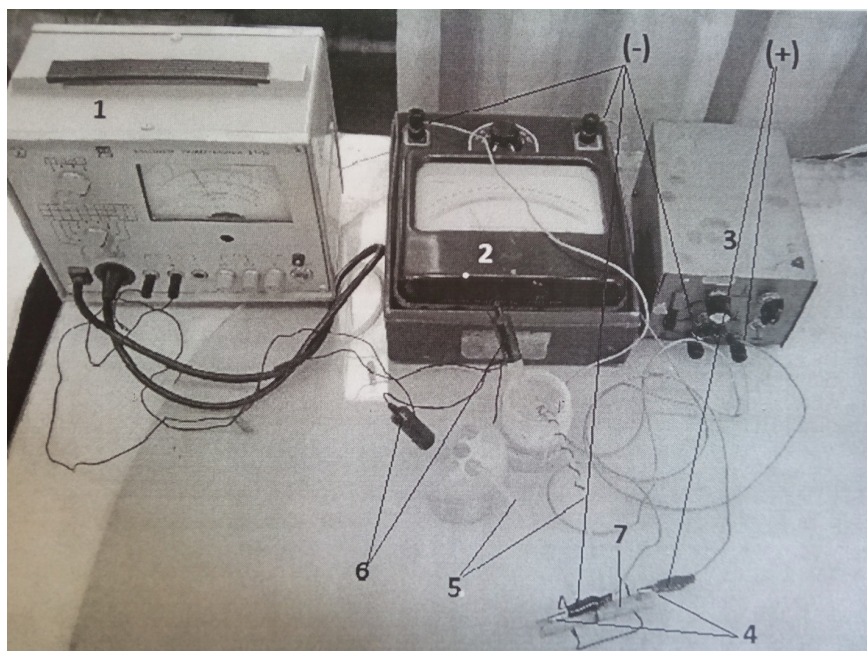


Рис. 1. Схема рабочей установки, используемой для исследования мембранного транспорта методом приложенного потенциала: 1 – вольтметр (мультиметр); 2 – микроамперметр; 3 – гальваностат; 4 – платиновые электроды; 5 – солевые мосты; 6 – ХСЭ; 7 – ячейка

Fig. 1. The scheme of the workstation used for the study of membrane by applied-potential method: 1 – voltmeter (multimeter); 2 – microammeter; 3 – galvanostat; 4 – platinum electrodes; 5 – salt bridges; 6 – HSE; 7 – cell

Измерения проводили в течение 2 ч: первые 5 мин показания снимали с интервалом в 1 мин, последующие 15 мин – через 5 мин, далее с 10-минутным интервалом до установления электрохимического равновесия системы. После первого часа измерений производилась смена поляризации с дальнейшим снятием показаний. Электрическое сопротивление мембран рассчитывали во всех сериях опытов по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I},$$

где  $U$  – падение напряжения на мембране, В;  $I$  – сила тока, А.

Исследования транспортных процессов проводились также для мембран **в условиях диффузионного массопереноса**, в ячейке, состоящей

из двух отделений объемом по 330 мл каждая (в одном находились растворы антибиотика различных концентраций, в другом – дистиллированная вода), между которыми располагалась ионообменная мембрана [4].

Обе секции перемешивались с помощью магнитных мешалок. Концентрации антибиотиков в источнике определяли методом прямой потенциометрии с использованием твердоконтактных сенсоров на основе  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА через 30, 60, 90, 120, 150, 180 мин от начала эксперимента. Концентрации цефотаксима находили по градуировочному графику.

#### Результаты и их обсуждение

Комплексные соединения серебра (I) с  $\beta$ -лактамами антибиотиками описаны в литературе



[13]. Устойчивость комплексов способствует получению на их основе ионных ассоциатов, образующихся при электростатическом взаимодействии соединений серебро(I)- $\beta$ -lac с катионом тетрадециламмония.

С целью получения некоторых данных о транспорте ионов в немодифицированных и модифицированных мембранах на основе изучаемых ионных ассоциатов была исследована зависимость сопротивления мембран от времени

при варьировании концентрации электродноактивных веществ, внешних растворов, контактирующих с мембранами.

**Электрическое сопротивление фоновых мембран.** Высокие омические сопротивления характерны для фоновых мембран (без электродно-активного соединения) (рис. 2). Накопление носителей заряда в таких мембранах осуществляется процессами проникновения ионов антибиотика из раствора в фазу мембраны.

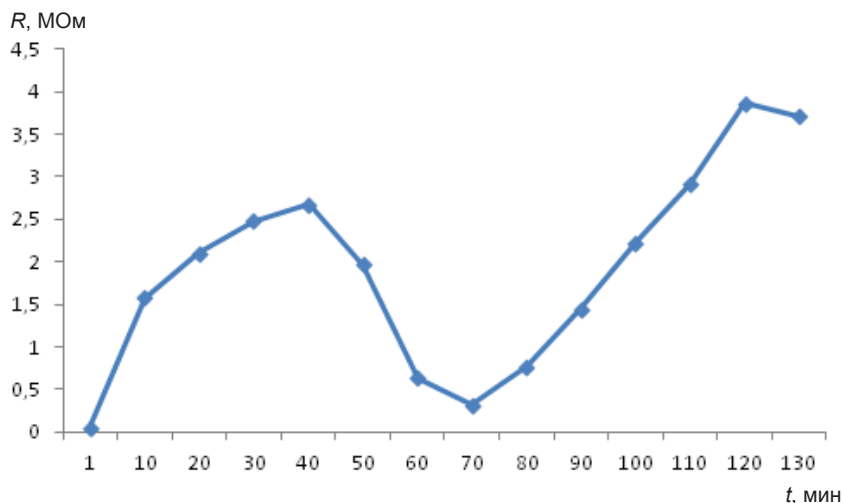


Рис. 2. Зависимость сопротивления фоновой мембраны от времени;  $C_{\text{примембранная}} = 10^{-2}/10^{-7}\text{M}$

Fig. 2. Dependence of the supporting membrane on time;  $C_{\text{primembrane}} = 10^{-2}/10^{-7}\text{M}$

Перенос ионов через фоновую мембрану заметно затруднен, так как сильно проявляется процесс закупоривания пор мембран, что вызывает излишние энергетические затраты на данный процесс в ходе эксперимента и, как следствие, высокие значения сопротивления.

**Электрическое сопротивление немодифицированных мембран.** В настоящей работе были исследованы транспортные свойства пластифицированных мембран на основе соединения  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА, с концентрациями ЭАВ 0,5; 1; 2; 3%. Для определения сопротивления мембран использовали свежеприготовленные растворы антибиотиков.

Исследуемые мембраны характеризуются устойчивыми токами проводимости в течение продолжительного времени (рис. 3). Стационарные значения потенциалов устанавливаются через 50 мин после начала измерения. Величина падения напряжения на мембране не меняется при изменении направления тока. Это указывает на то, что происходит обратимый ионный обмен на границе мембрана – раствор антибиотика. Зависимость стационарного сопротивления

мембран от содержания ЭАВ, концентрации примембранных растворов представлена на рис. 4, 5.

При увеличении концентрации электродно-активных компонентов сопротивление мембран уменьшается, что связано с увеличением концентрации ионообменных центров в фазе мембраны.

**Электрическое сопротивление модифицированных мембран.** В качестве модификаторов пластифицированных ПВХ мембран выступали полианилин, наночастицы  $\text{NiZnFeO}$ . При модифицировании мембран полианилином заметно улучшается процесс переноса ионов через мембрану. Это обусловлено подвижностью делокализованных  $\pi$ -электронов в сопряженной структуре полимера. Введение в мембраны полианилина способствует уменьшению их омического сопротивления (рис. 6).

При исследовании транспортных свойств пластифицированных модифицированных наночастицами  $\text{NiZnFeO}$  мембран наблюдается также снижение их сопротивления за счет увеличения пористости. Транспорт ионов улуч-

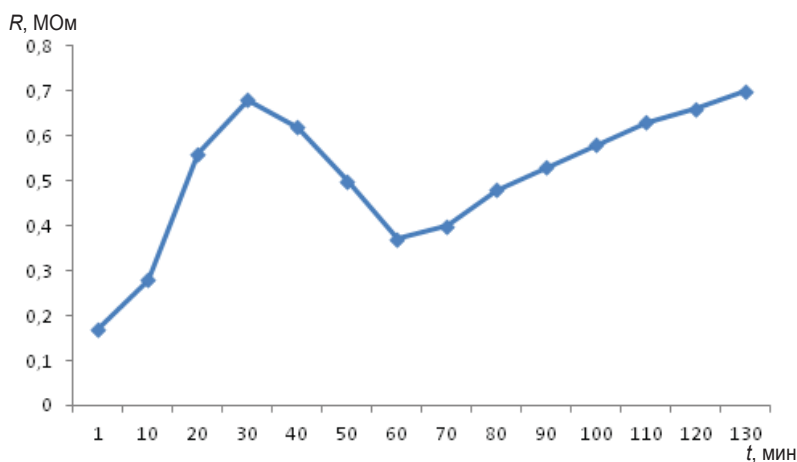


Рис. 3. Зависимость сопротивления пластифицированной мембраны на основе  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА от времени;  $C_{\text{ЭАВ}} = 2\%$ ;  $C_{\text{примембранная}} = 10^{-3}/10^{-7}\text{M}$   
Fig. 3. Dependence of the plasticized membrane resistance based on  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  TDA on time;  $C_{\text{EAS}} = 2\%$ ;  $C_{\text{primemembrane}} = 10^{-3}/10^{-7}\text{M}$

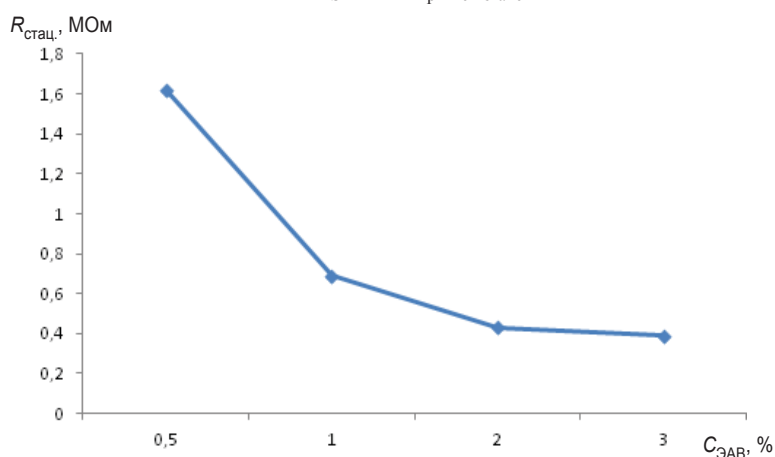


Рис. 4. Зависимость стационарного сопротивления пластифицированных мембран на основе  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА от концентрации ЭАВ;  $C_{\text{примембранная}} = 0,01\text{M}$   
Fig. 4. Dependence of the static resistance of plasticized membranes based on  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  TDA on the concentration of EAS;  $C_{\text{primemembrane}} = 0,01\text{M}$

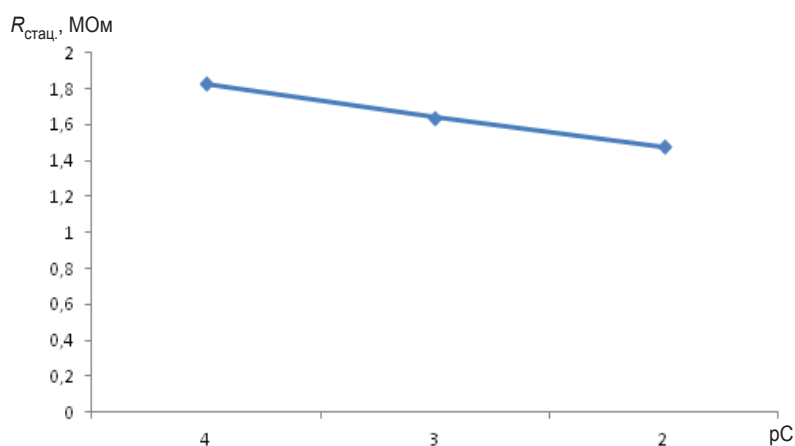


Рис. 5. Зависимость стационарного сопротивления пластифицированных мембран на основе  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  ТДА от концентрации примембранных растворов;  $C_{\text{ЭАВ}} = 0,5\%$   
Fig. 5. Dependence of static resistance plasticized membranes based on  $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$  TDA on the concentration of primemembrane solutions;  $C_{\text{EAS}} = 0,5\%$

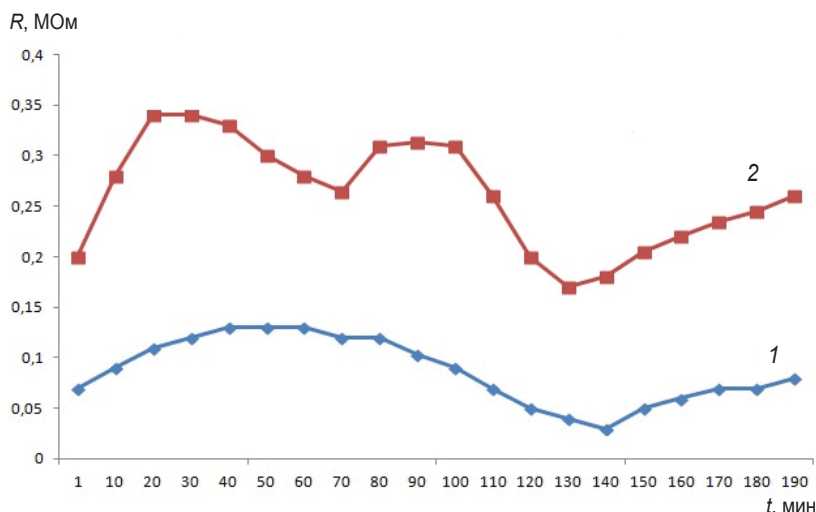


Рис. 6. Зависимость сопротивления модифицированных ПАНИ (1) и наночастицами NiZnFeO (2) пластифицированных мембран на основе Ag(Ceftx)<sub>2</sub> TDA от времени; C<sub>ЭАВ</sub> = 2%; C<sub>примембранная</sub> = 10<sup>-3</sup>/10<sup>-7</sup>М

Fig. 6. Dependence of the resistance of modified PANs (1) and NiZnFeO (2) nanoparticles of plasticized Ag(Ceftx)<sub>2</sub> TDA-based membranes on time; C<sub>EAS</sub> = 2%; C<sub>primemembrane</sub> = 10<sup>-3</sup>/10<sup>-7</sup>М

шается, происходит еще большее снижение сопротивления по сравнению с сопротивлением модифицированных ПАНИ мембран.

При исследовании транспортных процессов методом диффузионного массопереноса были оценены проницаемости и потоки ионов антибиотиков.

Коэффициент проницаемости  $P$  выражает количество вещества, проникающее через единицу поверхности мембраны, имеющей единичную толщину, в единицу времени при перепаде концентраций, равном единице. Поток ионов  $J$  – количество вещества, проходящего через единицу поверхности мембраны в единицу времени [4, 10].

$$P = \frac{\ln \frac{C_1 + C_2}{C_1 - C_2}}{S \left( \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) t} - \text{коэффициент проницаемости мембраны, м/с}$$

$J = P(C_2 - C_1)$  – поток ионов, моль/м<sup>2</sup>·с, где  $C_1$ ,  $C_2$  – концентрации растворов исследуемых веществ в источнике, приемнике, соответственно, моль/м;  $S$  – рабочая площадь поверхности мембраны, м<sup>2</sup>;  $t$  – время эксперимента, с;  $V_1$  и  $V_2$  – объем секции 1 (источника) и секции 2 (приемника) соответственно, м<sup>3</sup>.

Проницаемость и поток ионов не являются постоянными и специфическими свойствами мембраны. Они могут зависеть от природы и типа диффундирующих частиц.

В таблице представлены основные количественные характеристики мембранного транспорта цефотаксима в зависимости от времени в условиях диффузионного массопереноса. Показано, что объемные характеристики ионообменных мембран зависят от времени их контакта с растворами антибиотиков.

**Основные количественные характеристики мембранного транспорта (ЭАВ: Ag(Ceftx)<sub>2</sub>TDA, 2%)**

**Major quantitative characteristics of membrane transport (EAS: Ag(Ceftx)<sub>2</sub> TDA, 2%)**

C <sub>1</sub> , М	C <sub>2</sub> , М	t, с	V <sub>1</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	S, м <sup>2</sup>	P, м/с	J, моль/м <sup>2</sup> ·с
4,3·10 <sup>-3</sup>	1,7·10 <sup>-5</sup>	1800	3,3·10 <sup>-4</sup>	3,3·10 <sup>-4</sup>	6,36·10 <sup>-5</sup>	1,14·10 <sup>-5</sup>	4,89·10 <sup>-8</sup>
		3600				5,69·10 <sup>-6</sup>	2,44·10 <sup>-8</sup>
		5400				3,79·10 <sup>-6</sup>	1,63·10 <sup>-8</sup>
		7200				2,85·10 <sup>-6</sup>	1,22·10 <sup>-8</sup>
		10800				1,89·10 <sup>-6</sup>	8,14·10 <sup>-9</sup>



### Заклучение

Исследованы транспортные свойства фоновых мембран и мембран, содержащих ЭАВ, в растворах цефотаксима.

Предложен эффективный метод снижения омических сопротивлений пластифицированных ПВХ мембран (0,40–4,00 МОм) – модифицирование мембран токопроводящим полимером полианилином и наночастицами NiZnFeO. При этом сопротивление мембран снижалось (0,10–0,35 МОм), что связано с увеличением их проводимости.

### Список литературы

1. Николаев Н. И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
2. Kim Yo., Walker W. S., Lawler D. F. The Painlevé equation of the second kind for the binary ionic transport in diffusion boundary layers near ion-exchange membranes at over-limiting current // J. Electroanal. Chem. 2010. Vol. 639, № 1. P. 59–66.
3. Volgin V. M., Davydov A. D. Ionic transport through ion-exchange and bipolar membranes // J. Membr. Sci. 2005. Vol. 259, № 1–2. P. 110–121.
4. Макарова Н. М., Погорелова Е. С., Кулапина Е. Г., Захаревич А. М. Влияние гидрофобности ПАВ на характеристики транспортных процессов в поливинилхлоридных пластифицированных мембранах на основе гомологов алкилсульфатов и алкилпиридиния // Мембраны и мембранные технологии. 2014. Т. 4, № 2. С. 128–139.
5. Jones D. J., Roziere J. Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications // Fuel Cell Technology and Applications Ltd. 2003. Vol. 3. P. 447–455.
6. Stejskal J., Gilbert R. G. Polyaniline. Preparation of a conducting polymer // Pure and Applied Chemistry. 2002. Vol. 74, № 5. P. 857–867.
7. Абаляева В. В., Дремова Н. Н. Электрохимическое допирование полианилина анионом тетрацианохидриметана // Электрохимия. 2016. Т. 52, № 8. С. 834–842.
8. Радхи М. М., Алофур Ф. К. М., Ридха Н. Ж. Вольтамперометрические характеристики привитого полимера, модифицированного наночастицами ZnO, на стеклоуглеродном электроде // Электрохимия. 2018. Т. 54, № 1. С. 33–39.
9. Новикова С. А., Ярославцев А. Б. Синтез и транспортные свойства мембранных материалов с металлическими частицами меди и серебра // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8, вып. 6. С. 887–892.
10. Харитонов С. В. Транспортные свойства селективных мембран, обратимых к катионам азотсодержащих органических оснований: проницаемость и поток ионов // Журн. аналит. химии. 2003. Т. 58, № 12. С. 199–206.
11. Кулапина О. И., Кулапина Е. Г. Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах. Саратов: Саратовский источник, 2015. 91 с.
12. Кулапина Е. Г., Тютликова М. С. Твердоконтактные и планарные сенсоры для определения цефотаксима в водных и биологических средах // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 14–18.
13. Алексеев В. Г. Металлокомплексы пенициллинов и цефалоспоринов // Хим.-фарм. журн. 2011. Т. 45, № 11. С. 31–48.

### Образец для цитирования:

Кулапина Е. Г., Тютликова М. С., Мурсалов Р. К. Транспортные свойства мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 138–145. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>

### Transport Properties of Membranes on the Basis of Tetradecylammonium Associates with Complex Compounds Silver(I)-cefotaxime

E. G. Kulapina, M. S. Tyutlikova, R. K. Mursalov

Elena G. Kulapina, <https://orcid.org/0000-0002-5644-5039>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, kulapinaeg@mail.ru

Margarita S. Tyutlikova, <https://orcid.org/0000-0002-4881-376X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, rita\_tyutlikova@mail.ru

Ruslan K. Mursalov, <https://orcid.org/0000-0002-7754-5469>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, ruslan.mursalov2011@yandex.ru

Transport properties of the plasticized polyvinylchloride membranes on the basis of tetradecylammonium associates with complex connections silver (I) – cefotaxime in the conditions of a diffusive mass transfer and a direct current are investigated. With variation of concentration of electrode active substances (0.5; 1; 2; 3%), the external solutions contacting with membranes ( $10^{-2}$ – $10^{-7}$  M). It is established that resistance of membranes depends on the content of electrode active substances (EAS) and concentration of perimembrane solutions of a cefotaxime. When an increase in concentration of electrode active components, resistance of membranes decreases which is connected with an increase of a number of the ion-exchange centers in a membrane phase. The studied membranes are characterized by steady currents of conductivity for an appreciable length of time. Stationary values of potentials are established in 50 min from the beginning of measurement. The voltage drop on membranes remains constant with a change of the direction of current. It indicates that



there is a reversible ion exchange on the border of the antibiotic membrane solution. It is shown that the introduction of modifiers (polyaniline and nanoparticles of NiZnFeO) reduces resistance of membranes which is connected to an increase in their conductivity. The permeability and streams of ions of antibiotics in membranes are estimated: these characteristics are not constant and specific properties of membranes; they depend on nature and the type of diffusing particles.

**Keywords:** transport properties, membranes, cefotaxime, tetradecylammonium, complex compounds of silver(I).

## References

1. Nikolaev N. I. *Diffuziya v membranakh* [Diffusion in membranes]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 232 p. (in Russian).
2. Kim Yo., Walker W. S., Lawler D. F. The Painlevé equation of the second kind for the binary ionic transport in diffusion boundary layers near ion-exchange membranes at over-limiting current. *J. Electroanal. Chem.*, 2010, vol. 639, no. 1, pp. 59–66.
3. Volgin V. M., Davydov A. D. Ionic transport through ion-exchange and bipolar membranes. *J. Membr. Sci.*, 2005, vol. 259, no. 1–2, pp. 110–121.
4. Makarova N. M., Pogorelova E. S., Kulapina E. G., Zakharevich A. M. Influence of water repellency surfactant on characteristics of transport processes in the polyvinylchloride plasticized membranes on the basis of homologs of alkylsulfates and an alkylpyridinium. *Membranes and membrane technologies*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 128–139 (in Russian).
5. Jones D. J., Roziere J. Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications. *Fuel Cell Technology and Applications Ltd.*, 2003, vol. 3, p. 447–455.
6. Stejskal J., Gilbert R. G. Polyaniline. Preparation of a conducting polymer. *Pure and Applied Chemistry*, 2002, vol. 74, no. 5, pp. 857–867.
7. Abalyaeva V. V., Dremova N. N. Electrochemical doping of polyaniline anion of a tetracyanokhinodimetan. *Electrochemistry*, 2016, vol. 52, no. 8, pp. 834–842 (in Russian).
8. Radhi M. M., Alosfur F. K. M., Ridkha N. Zh. Voltammetric characteristics of the imparted polymer modified by ZnO nanoparticles on a glassy carbon electrode. *Electrochemistry*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 33–39 (in Russian).
9. Novikova S. A., Yaroslavtsev A. B. Synthesis and transport properties of membrane materials with metal particles of copper and silver. *Sorption and Chromatographic processes*, 2008, vol. 8, iss. 6, pp. 887–892 (in Russian).
10. Kharitonov S. V. Transport properties of the selective membranes reversible to cations of the nitrogen-containing organic bases: permeability and stream of ions. *J. Anal. Chemistry*, 2003, vol. 58, no. 12, pp. 199–206 (in Russian).
11. Kulapina O. I., Kulapina E. G. *Antibakterial'naya terapiya. Sovremennye metody opredeleniya antibiotikov v lekarstvennyh i biologicheskikh sredah* [Antibacterial therapy. Modern methods of definition of antibiotics in medicinal and biological environments]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2015. 91 p. (in Russian).
12. Kulapina E. G., Tyutlikova M. S. The solid-state and planar sensors for the determination of cefotaxime in aqueous and biological environments. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 14–18 (in Russian).
13. Alekseev V. G. Metal complexes of penicillin and cephalosporin. *Chemical-Pharm. Magazine*, 2011, vol. 45, no. 11, pp. 31–48 (in Russian).

## Cite this article as:

Kulapina E. G., Tyutlikova M. S., Mursalov R. K. Transport Properties of Membranes on the Basis of Tetradecylammonium Associates with Complex Compounds Silver(I)-cefotaxime. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 138–145 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>