

## ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЛАУРИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ

**И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, О. С. Филимонова,  
А. А. Орлов, М. И. Михайлин**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет», г. Тамбов, Россия*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор О. А. Абоносимов*

**Ключевые слова:** анионные поверхностно-активные вещества; мембраны; рециркуляция; ультрафильтрация.

**Аннотация:** Проведено исследование процесса ультрафильтрационного разделения раствора, содержащего анионное поверхностно-активное вещество (АПАВ), на мембранах разных типов: ацетатцеллюлозных и полисульфонамидных. Установлено, что на ультрафильтрационное разделение таких растворов значительное влияние оказывает материал активного слоя композиционной мембраны. Высокие значения коэффициента задержания при ультрафильтрационном разделении растворов, содержащих АПАВ, получено в разбавленных растворах.

### Введение

Повышенное потребление воды, как для промышленных, так и бытовых целей, привело к нехватке качественных ресурсов поверхностных и подземных вод и увеличению затрат на очистку питьевой воды и сточных вод. Вследствие этого для любого органа рационального управления водными ресурсами было бы благоразумно обеспечивать чистейшие источники воды для непосредственного потребления и поощрять повторное использование обработанной воды для промышленных целей [1, 2].

Экологические риски, связанные с производством моющих средств, их использованием и утилизацией, вызывают серьезную озабоченность из-за их относительной токсичности основных ингредиентов – поверхно-

---

Хорохорина Ирина Владимировна – доктор технических наук, доцент кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru; Лазарев Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»; Филимонова Ольга Сергеевна – ассистент кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»; Орлов Александр Андреевич – магистрант; Михайлин Максим Игоревич – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

стно-активных веществ (**ПАВ**) для водных организмов. При экологической оценке ПАВ (помимо их внутренней токсичности) необходимо учитывать фактор потенциального синергетического воздействия (среди прочего) на миграцию, дисперсию, биодоступность химического вещества с низкой токсичностью соединения в составе. Большинство ПАВ подвержены биоразложению и другим реактивным распадам, что может привести к образованию метаболитов со значительно различными химическими свойствами. Однако, согласно литературным данным [3], влияние ПАВ на окружающую среду (**ОС**) неоднозначно. С одной стороны, они могут вызвать ее серьезное загрязнение с повышенной токсичностью для живых организмов; с другой – способствовать удалению неорганических и органических загрязнителей из ОС.

Из-за разнообразия ПАВ и их физико-химических свойств сложно разработать единый и эффективный метод очистки сточных вод от моющих средств. Среди методов, которые изучались в этой области исследований [4 – 10], можно выделить биodeградацию, коагуляцию, вспенивание, окисление, адсорбцию, ионный обмен и мембранные процессы.

Многочисленные отчеты указывают на то, что процесс ультрафильтрации становится одним из ведущих способов получения чистой воды и концентрированных продуктов из промывных вод, используемых при серийном производстве ПАВ и моющих средств, а также в качестве стадии доочистки перед сбросом сточных вод [11, 12].

Сброс очищенных сточных вод моющих средств с помощью мембранных процессов низкого давления в ОС не всегда возможен, и необходимо применять дополнительный процесс очистки. Поэтому процессы ультрафильтрации представляются очень эффективным решением данной проблемы рециркуляции и оборотного водоснабжения.

Цель работы – исследование эффективности извлечения анионных ПАВ (**АПАВ**), принадлежащих к семейству лаурилсульфатов, из водных растворов с помощью ультрафильтрационного метода.

### **Материалы и методы**

*Исследуемые растворы.* Модельные растворы приготовлены на дистиллированной воде с концентрацией лаурилсульфата натрия 15...300 мг/л. Эксперименты проводились при 25 °С.

Лаурилсульфат натрия используется в гальванической промышленности для промывки и обезжиривания деталей перед основным процессом гальванизации, в текстильной – в качестве смачивающих, диспергирующих и чистящих средств, в нефтеперерабатывающей – как присадки. Они также являются важными эмульгаторами в промышленных процессах, при полимеризации и составлении средств защиты растений. Более 80 % АПАВ используется в моющих и чистящих средствах для стирки, а также практически во всех типах товаров для дома.

Концентрацию АПАВ в исходном растворе и пермеате определяли фотометрическим методом. Оптическую плотность измеряли при длине волны 650 нм в кюветах с толщиной оптического слоя 30 мм.

*Процесс ультраfiltrации.* В исследовании использовались ультраfiltrационные мембраны производства ЗАО НТЦ «Владипор» (г. Владимир): УАМ-50, УАМ-100 – ацетатцеллюлозные, УПМ-50, УПМ-100 – полисульфонамидные. Характеристики исследуемых мембран представлены в табл. 1.

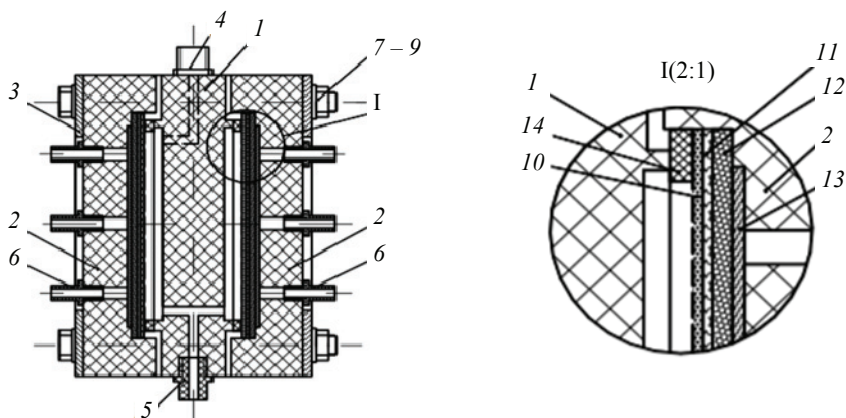
Процесс ультраfiltrации проводился на лабораторной установке, представленной в работе [13], основной частью которой являлась УФ-ячейка (рис. 1). Эффективная площадь поверхности мембраны составляла 78,5 мм<sup>2</sup>. Перед первым циклом УФ-мембраны обрабатывали дистиллированной водой при 0,15 МПа до достижения постоянных значений по удельному выходному потоку.

Чтобы поддерживать стабильную концентрацию веществ в исходном растворе, пермеат рециркулировали в ультраfiltrационную ячейку. Эксперименты по ультраfiltrации проводили при следующих трансмембранных давлениях: 0,10; 0,15 и 0,20 МПа.

Таблица 1

**Рабочие характеристики мембран**

Показатель	Марка мембраны			
	УАМ-50	УАМ-100	УПМ-50	УПМ-100
Коэффициент задержания, %	97		95	
Трансмембранное давление, МПа	0,15		0,10	
Минимальный удельный выходной поток по воде, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	3,33·10 <sup>-6</sup>	1,66·10 <sup>-6</sup>	2,00·10 <sup>-5</sup>	2,33·10 <sup>-4</sup>
Средний диаметр пор, мкм	0,015	0,030	0,030	0,100
Материал подложки	Нетканый нейлон		Нетканый лавсан	



**Рис. 1. Ультраfiltrационная разделительная ячейка:**

1 – средняя часть ячейки; 2 – фланцы; 3 – пластина жесткости; 4 – патрубок вывода; 5 – патрубок подвода разделяемого раствора; 6 – штуцеры; 7 – 9 – болты с гайками и шайбами; 10 – мембраны; 11 – ватман; 12 – пористая металлическая пластина; 13 – сетка из нержавеющей стали; 14 – паронитовые прокладки

## Результаты и их обсуждение

Зависимости коэффициента задержания и удельного выходного потока от концентрации ПАВ в разделяемом растворе в процессе ультрафильтрации представлены на рис. 2. Самое высокое разделение растворов, содержащих АПАВ, отмечено при очень низкой концентрации ПАВ в исходном растворе.

При увеличении концентрации эффективность задержания снижается. Наибольший коэффициент задержания был достигнут у полисульфонамидных мембран и составил 67 – 89 % и 73 – 92 % для композиционных мембран вида УПМ-50 и УПМ-100 соответственно.

Следует отметить, что увеличение концентрации АПАВ привело к ухудшению проницаемости мембран. Результаты, полученные для модельных растворов, показали, что мембраны ацетатцеллюлозные и полисульфонамидные характеризовались очень хорошей эксплуатационной стабильностью. Наибольшее снижение удельного выходного потока пермеата продемонстрировали полисульфонамидные мембраны, характеристики которых имели более гидрофобные свойства и более губчатую структуру полимера, чем мембраны из ацетатцеллюлозы.

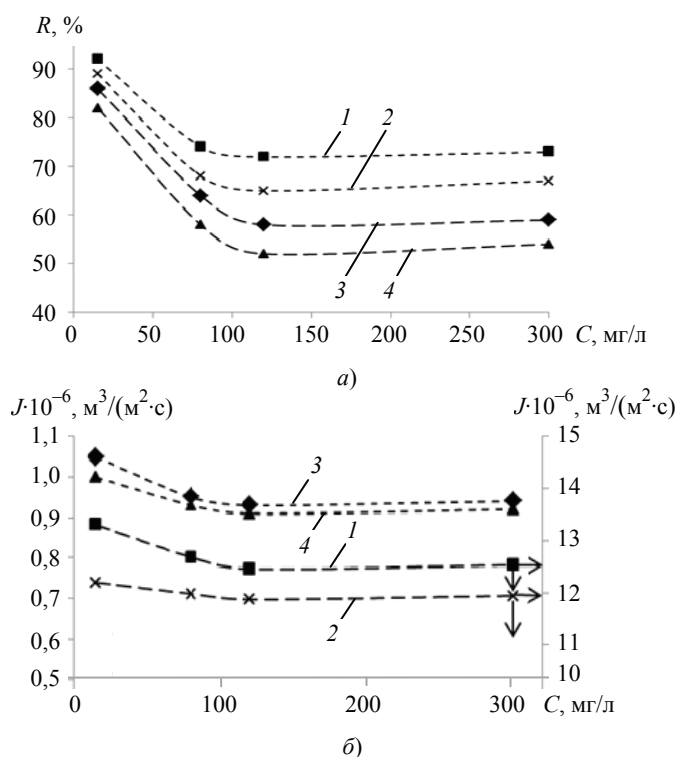


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента задержания (а) и удельного выходного потока (б) от концентрации ПАВ в процессе ультрафильтрации (трансмембранное давление – 0,15 МПа):

1 – УПМ-100; 2 – УПМ-50; 3 – УАМ-100; 4 – УАМ-50

Проницаемые и задерживающие свойства мембраны во время ультрафильтрации можно объяснить несколькими явлениями: концентрационной поляризацией, загрязнением мембраны и химическим взаимодействием между ПАВ и активным слоем мембраны.

При низкой концентрации (намного ниже критической концентрации мицеллообразования (**ККМ**)) высокое значение коэффициента задержания для ПАВ может быть связано с адсорбцией мономера на поверхности мембраны и в порах. Согласно [14], мономерная конкуренция за гидрофобные пятна на мембране невелика, и, вероятно, момеры «лежат» горизонтально вдоль поверхности.

При более высокой концентрации, возможно, образуется плотно упакованный слой ПАВ на поверхности мембраны и внутри пор, что приводит к снижению потока пермеата. В литературе [15] отмечено, что при концентрации ПАВ ниже ККМ блокирование пор мембраны также может быть вызвано премицеллами, образованными в слое концентрационной поляризации.

При концентрации, близкой к значению ККМ, в результате образования мицелл разделение несколько увеличивалось и одновременно отмечалось улучшение транспортных свойств. Поскольку поверхность мицелл гидрофильна, она лучше взаимодействует с растворителем, чем с активным слоем УФ-мембран. В то же время электростатическое отталкивание между отрицательно заряженными мицеллами приводит к менее компактному поляризационному слою и тем самым облегчает перенос растворителя [15].

## Выводы

Экспериментальные исследования показали, что на ультрафильтрацию поверхностно-активного вещества существенное влияние оказывает вид материала композиционной мембраны и особенно активного слоя. Повышенные характеристики по коэффициенту задержания достигнуты при использовании мембран полисульфонамидного вида.

Высокие значения коэффициента задержания при разделении растворов, содержащих анионные поверхностно-активные вещества, получены при низких концентрациях. Из вышесказанного следует, что в технологические линии очистки промышленных сточных вод ультрафильтрационные модули необходимо устанавливать на стадии доочистки, когда концентрации АПАВ в обработанной воде ниже 10 мг/л.

### *Список литературы*

1. Дудоров, В. Е. Методы очистки сточных вод, виды очистных сооружений и инновации в области очистки сточных вод / В. Е. Дудоров, Д. Н. Хисматулина, Э. Р. Исакова // Наука среди нас. – 2019. – № 4 (20). – С. 43 – 48.
2. Медведева, В. С. Исследование вариантов схем оборотного водоснабжения и очистки сточных вод и предприятий со щелочными стоками / В. С. Медведева // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований : материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Геонауки – 2020», 21 – 25 мая 2020 г., Иркутск. – Иркутск, 2020. – С. 87 – 91.

3. Cserhati, T. Biological Activity and Environmental Impact of Anionic Surfactants / T. Cserhati, E. Forgacs, G. Oros // *Environment International*. – 2002. – Vol. 28, Issue 5. – P. 337 – 348. doi: 10.1016/S0160-4120(02)00032-6
4. Бурлаченко, А. С. Изучение процессов биодеструкции поверхностно-активных веществ / А. С. Бурлаченко, О. В. Салищева, В. Ф. Долганюк // *Пищевые инновации и биотехнологии : материалы VIII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 25 – 27 мая 2020 г., Кемерово. – Кемерово, 2020. – С. 220–221.*
5. Разинков, П. С. Очистка сточных вод физико-химическим методом / П. С. Разинков // *Проблемы техносферной безопасности : материалы Междунар. науч.-практ. студенческой конф., 10 октября 2019 г., Воронеж. – Воронеж, 2019. – С. 154 – 161.*
6. Доржготов, А. Изучение возможности очистки сточных вод ковровой фабрики методом коагуляции / А. Доржготов, И. Сухбаатар // *Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., 05 – 08 сентября 2018 г., Улан-Удэ. – Улан-Удэ, 2018. – С. 85 – 91.*
7. Переспелова, М. А. Перспективы очистки сточных вод от ПАВ окислением пероксида водорода с использованием модифицированных сорбентов / М. А. Переспелова // *Научные проекты и технологии в машино- и приборостроении, медицине : материалы Всерос. молодежной науч. конф., 03 – 05 декабря 2018 г., Саратов. – Саратов, 2018. – С. 262 – 269.*
8. Вилкова, Н. Г. Очистка сточных вод от веществ различной химической природы методом адсорбционного концентрирования / Н. Г. Вилкова, С. И. Мишина // *Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 2 (39). – С. 163 – 173.*
9. Хорохорина, И. В. Экспериментальное исследование ультрафильтрационной очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества / И. В. Хорохорина, М. И. Михайлин, С. И. Лазарев // *Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования : материалы Междунар. науч.-практ. конф. им. В. И. Вернадского, 29 – 31 мая 2019 г., Тамбов. – Тамбов, 2019. – Т. 3. – С. 132 – 135.*
10. Славинская, Г. В. Влияние реакции среды на эффективность сорбционной очистки воды от природных и синтетических ПАВ анионитами / Г. В. Славинская, О. В. Куренкова // *Науч. журн. строительства и архитектуры. – 2017. – № 2 (46). – С. 52 – 65.*
11. Кинетические характеристики процесса очистки сточных вод от анионных поверхностно-активных веществ с использованием электроультрафильтрационного метода / И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, С. В. Ковалев [и др.] // *Вестн. технол. ун-та. – 2018. – Т. 21, № 10. – С. 135 – 139.*
12. Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии / И. А. Саранов, С. И. Нифталиев, В. В. Торопцев, И. А. Кузнецов // *Вестн. Воронежского гос. ун-та инженерных технологий. – 2021. – Т. 83, № 1 (87). – С. 323 – 329. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-323-329*
13. Исследование кинетических и структурных характеристик слабоионизированных ультрафильтрационных мембран при разделении растворов, содержащих поверхностно-активные вещества / И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, Ю. М. Головин [и др.] // *Вестн. технол. ун-та. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 95 – 98.*
14. Jönsson, A.-S. The Influence of Nonionic and Ionic Surfactants on Hydrophobic and Hydrophilic Ultrafiltration Membranes / A.-S. Jönsson, B. Jönsson // *Journal of Membrane Science. – 1991. – Vol. 56, Issue 1. – P. 49 – 76. doi: 10.1016/0376-7388(91)85015-W*



15. Ultrafiltration Behavior of a New Type of Non-Ionic Surfactant Around the CMC / K. Mizoguchi, K. Fukui, H. Yanagishita [et al.] // Journal of Membrane Science. – 2002. – Vol. 208, Issue 1-2. – P. 285 – 288. doi: 10.1016/S0376-7388(02)00304-6

### References

1. Dudorov V.Ye., Khismatulina D.N., Iskhakova E.R. [Methods of waste water treatment, types of treatment facilities and innovations in the field of waste water treatment], *Nauka sredi nas* [Science among us], 2019, no. 4 (20), pp. 43-48. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Medvedeva V.S. *Geologiya, poiski i razvedka poleznykh iskopayemykh i metody geologicheskikh issledovaniy* [Geology, prospecting and exploration of minerals and methods of geological research], Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Geosciences - 2020”, 21 - 25 May, 2020, Irkutsk, 2020, pp. 87-91. (In Russ.)

3. Cserhati T., Forgacs E., Oros G. Biological Activity and Environmental Impact of Anionic Surfactants, *Environment International*, 2002, vol. 28, issue 5, pp. 337-348, doi: 10.1016/S0160-4120(02)00032-6

4. Burlachenko A.S., Salishcheva O.V., Dolganyuk V.F. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii* [Food innovations and biotechnologies], Proceedings of the VIII International scientific conference of students, graduate students and young scientists, 25 - 27 May, 2020, Kemerovo, 2020, pp. 220-221. (In Russ.)

5. Razinkov P.S. *Problemy tekhnosfernoy bezopasnosti* [Problems of technosphere safety], Proceedings of the International Scientific and Practical Student Conference, 10 October, 2019, Voronezh, 2019, pp. 154-161. (In Russ.)

6. Dorzhgotov A., Sukhbaatar I. *Kozha i mekh v XXI veke: tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovaniye* [Leather and fur in the XXI century: technology, quality, ecology, education], Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference, 05 - 08 September, 2018, Ulan-Ude, 2018, pp. 85-91. (In Russ.)

7. Perespelova M.A. *Naukoyemkiye proyekty i tekhnologii v mashinostroyeniye, meditsine* [Science-intensive projects and technologies in mechanical engineering and instrument making, medicine], Proceedings of the All-Russian youth scientific conference, 03 - 05 December, 2018, Saratov, 2018, pp. 262-269. (In Russ.)

8. Vilkova N.G., Mishina S.I. [Purification of waste water from substances of various chemical nature by the method of adsorption concentration], *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], 2019, no. 2 (39), pp. 163-173. (In Russ.)

9. Khorokhorina I.V., Mikhaylin M.I., Lazarev S.I. *Inzhenernyye tekhnologii dlya ustoychivogo razvitiya i integratsii nauki, proizvodstva i obrazovaniya* [Engineering technologies for sustainable development and integration of science, production and education], Proceedings of the International Scientific and Practical Conference V. I. Vernadsky, 29 - 31 May, 2019, Tambov, 2019, vol. 3, pp. 132-135. (In Russ.)

10. Slavinskaya G.V., Kurenkova O.V. [Influence of the reaction of the environment on the efficiency of sorption water purification from natural and synthetic surfactants with anionites], *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury* [Scientific journal of construction and architecture], 2017, no. 2 (46), pp. 52-65. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Khorokhorina I.V., Lazarev S.I., Kovalev S.V. [et al.] [Kinetic characteristics of the wastewater treatment process from anionic surfactants using the electro-ultrafiltration method], *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2018, vol. 21, no. 10, pp. 135-139. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Saranov I.A., Niftaliyev S.I., Toroptsev V.V., Kuznetsov I.A. [Investigation of water quality in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2021, vol. 83, no. 1 (87), pp. 323-329, doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-323-329 (In Russ., abstract in Eng.)

13. Khorokhorina I.V., Lazarev S.I., Golovin Yu.M., Kovalev S.V., Kuznetsov M.A. [Study of the kinetic and structural characteristics of weakly ionized ultrafiltration membranes in the separation of solutions containing surfactants], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2019, vol. 22, no. 4, pp. 95-98. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Jönsson A.-S., Jönsson B. The Influence of Nonionic and Ionic Surfactants on Hydrophobic and Hydrophilic Ultrafiltration Membranes, *Journal of Membrane Science*, 1991, vol. 56, issue 1, pp. 49-76, doi: 10.1016/0376-7388(91)85015-W

15. Mizoguchi K., Fukui K., Yanagishita H., Nakane T., Nakata T. Ultrafiltration Behavior of a New Type of Non-Ionic Surfactant Around the CMC, *Journal of Membrane Science*, 2002, vol. 208, issue 1-2, pp. 285-288, doi: 10.1016/S0376-7388(02)00304-6

---

### Features of Ultrafiltration Purification of Waste Water from Sodium Lauryl Sulphate

I. V. Khorokhorina, S. I. Lazarev, O. S. Filimonova,  
A. A. Orlov, M. I. Mikhailin

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia*

**Keywords:** anionic surfactants; membranes; recirculation; ultrafiltration.

**Abstract:** A study of the process of ultrafiltration separation of a solution containing an anionic surfactant on membranes of different types: cellulose acetate and polysulfonamide was carried out. It was found that the material of the active layer of the composite membrane has a significant effect on the ultrafiltration separation of such solutions. High values of the retention coefficient during ultrafiltration separation of solutions containing anionic surfactants were obtained in dilute solutions.

---

© И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, О. С. Филимонова,  
А. А. Орлов, М. И. Михайлин, 2021