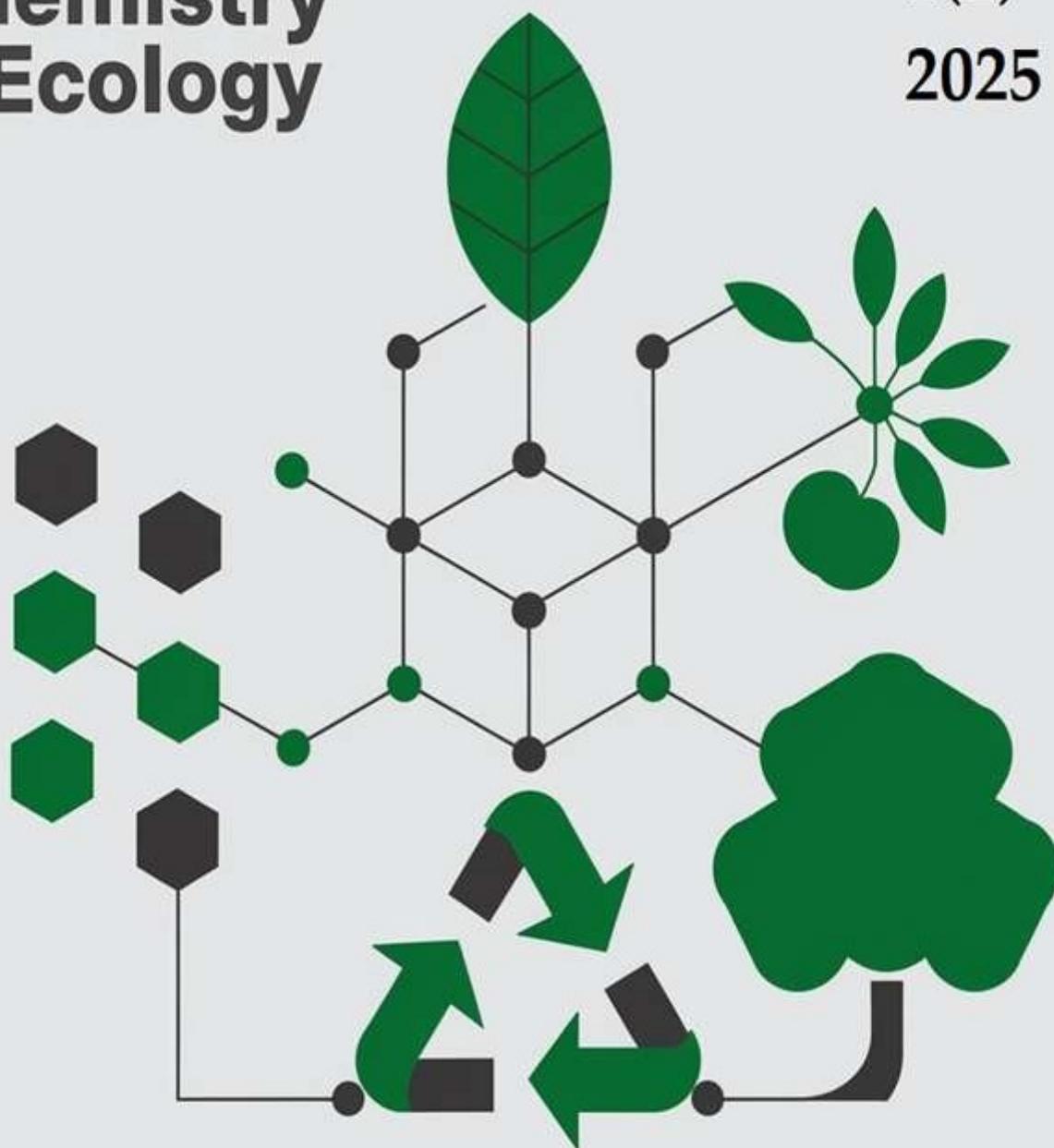


Shakarim
Chemistry
& Ecology

1(1)
2025



SHAKARIM UNIVERSITY PRESS

SHAKARIM CHEMISTRY&ECOLOGY, 2025 1(1)

ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТІ

SHAKARIM CHEMISTRY & ECOLOGY

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ ♦ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ♦ SCIENTIFIC JOURNAL

Том
Том
Volume

1

Шығарылым
Выпуск
Issue

1

Жыл
Год
Year

2025

Семей, 2025

МАЗМҰНЫ / CONTENTS / СОДЕРЖАНИЕ

Химия / Chemistry / Химия

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | <p>А.Б. Есжанов, И.В. Корольков, М.В. Здоровец
 <i>Лаурилметакрилаттың фотоинициацияланған теліп полимерленуі және лаурилакрилат пен стеарилметакрилаттың ПЭТФ трек мембраналарында қосполимерленуі</i>
 A. Yeszhanov, I. Korolkov, M. Zdorovets
 <i>Photoinitiated Graft Polymerization of Lauryl Methacrylate and Copolymerization of Lauryl Acrylate and Stearyl Methacrylate on PET Track Membranes</i>
 А.Б. Есжанов, И.В. Корольков, М.В. Здоровец
 <i>Фотоиницированная прививочная полимеризация лаурилметакрилата и сополимеризация лаурилакрилата и стеарилметакрилата на ПЭТФ трековые мембраны</i></p> | 11 |
| 2 | <p>Г.Т. Елемесова, А.Н. Кливенко, Л.К. Оразжанова, А.В. Шахворостов
 <i>Акриламид пен натрий акрилаты негізіндегі гидрогельдердің тұз ерітінділеріндегі ісіну дәрежесін синтездеу және зерттеу: мұнай кен орындарында қолдану үшін</i>
 G. Yelemessova, A. Klivenko, L. Orazzhanova, A. Shakhvorostov
 <i>Synthesis and Study of the Swelling Degree of Hydrogels Based on Acrylamide and Sodium Acrylate in Salt Solutions for Further Application in Oil Fields</i>
 Г.Т. Елемесова, А.Н. Кливенко, Л.К. Оразжанова, А.В. Шахворостов
 <i>Синтез и исследование степени набухания гидрогелей на основе акриламида и акрилата натрия в растворах солей для дальнейшего использования в нефтяных месторождениях</i></p> | 23 |
| 3 | <p>Х.Г. Акимжанова, А.Н. Сабитова, Б.Х. Мусабаева
 <i>Маралды көлінің табиғи балшығының элементтік құрамы</i>
 H. Akimzhanova, A. Sabitova, B. Musabayeva
 <i>Elemental Composition of Natural Mud from Lake Maraldy</i>
 Х.Г. Акимжанова, А.Н. Сабитова, Б.Х. Мусабаева
 <i>Элементный состав природной грязи озера Маралды</i></p> | 32 |
| 4 | <p>Д.К. Карлы, Г.С. Айтқалиева, Н.Ж. Жантұрғанов, Ж. Смайылова, М.В. Битабарова
 <i>Мотор майлары үшін полимерлік қалыңдатқыш қоспалардың тиімділігін арттыру</i>
 D. Karly, G. Aitkaliyeva, N. Zhanturganov, Zh. Smaiyllova, M. Bitabarova
 <i>Increasing the Effectiveness of Polymeric Thickening Additives for Motor Oils</i>
 Д.К. Карлы, Г.С. Айтқалиева, Н.Ж. Жантұрғанов, Ж. Смайлова, М.В. Битабарова
 <i>Повышение эффективности полимерных загущающих присадок для моторных масел</i></p> | 42 |
| 5 | <p>Ж.Ж. Нуртазина, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, К.К. Кабдулкаримова
 <i>Chlorella vulgaris өсіру жағдайларының биомасса мен биологиялық белсенді заттардың құрамына әсері</i>
 Zh. Nurtazina, Zh. Kassymova, L. Orazzhanova, K. Kabdulkarimova</p> | 52 |

Influence of Cultivation Conditions of Chlorella vulgaris on Biomass and Content of Biologically Active Substances

Ж.Ж. Нуртазина, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, К.К. Кабдулкаримова

Влияние условий культивирования Chlorella vulgaris на биомассу и содержание биологически активных веществ

Экология / Ecology / Экология

- 6 **Л.В. Скрипникова, А.К. Мурзалимова, Т.Б. Құрақов, Ж.К. Кабышева** 66
«Семей цемент зауыты өндірістік компаниясы» ЖШС аумағындағы техногендік ландшафттардың экологиялық-геохимиялық бағасы
L. Skripnikova, A. Murzalimova, T. Kurakov, Zh. Kabysheva
Environmental and Geochemical Assessment of Technogenic Landscapes in the Area of LLP “Semey Cement Plant Production Company”
Л.В. Скрипникова, А.К. Мурзалимова, Т.Б. Құрақов, Ж.К. Кабышева
Экологического-геохимическая оценка техногенных ландшафтов в районе ТОО «Производственная компания Цементный завод Семей»
- 7 **А.Р. Сибиркина, С.Ф. Лихачев, О.Н. Мулюкова, А.В. Савченков** 78
Тургояк көлінде мекендейтін балықтың ағзалары мен тіндеріндегі ауыр металдардың иондарының концентрациясы
A. Sibirkina, S. Likhachev, O. Mulyukova, A. Savchenkov
Concentration of Heavy Metal Ions in the Organs and Tissues of Fish Inhabiting Lake Turgoyak
А.Р. Сибиркина, С.Ф. Лихачев, О.Н. Мулюкова, А.В. Савченков
Концентрация ионов тяжёлых металлов в органах и тканях рыбы, обитающей в озере Тургояк
- 8 **А.С. Ерсин, А.О. Алибекова, А.Б. Карабалаева** 88
Есіл өзені мен құбыр суының иондық құрамының салыстырмалы талдауы
A. Yersin, A. Alibekova, A. Karabalaeva
Comparative Analysis of the Ionic Composition of the Yesil River and Tap Water
А.С. Ерсин, А.О. Алибекова, А.Б. Карабалаева
Сравнительный анализ ионного состава реки Есиль и водопроводной воды
- 9 **А.А.Әліпқали, С.С. Шашеденова** 95
Былғары өнеркәсібінің экологиялық тұрақтылығын арттыру: қайта өңдеу және қалдықтарды басқару технологиялары
A. Alipkali, S. Shamshedenova
Increasing the ecological sustainability of the industry: technology of processing and waste management
А.А.Алипқали, С.С.Шашеденова
Повышение экологической устойчивости кожевенной промышленности: технологии переработки и управления отходами

DOI:

MPHTI: 31.25.15

**ФОТОИНИЦИИРОВАННАЯ ПРИВИВОЧНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ
ЛАУРИЛМЕТАКРИЛАТА И СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ЛАУРИЛАКРИЛАТА И
СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА НА ПЭТФ ТРЕКОВЫЕ МЕМБРАНЫ**

А.Б. Есжанов, И.В. Корольков*, М.В. Здоровец

Институт ядерной физики Министерства Энергетики Республики Казахстан, Алматы,
Казахстан

**i.korolkov@inp.kz*

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлены результаты исследования методов модификации трековых мембран (ТМ), полученных на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ), с целью улучшения их гидрофобных свойств и повышения эффективности применения в процессах мембранной дистилляции (МД). Основное внимание уделено фотоинициированной прививочной полимеризации лаурилметакрилата (LMA), а также сополимеризации лаурилкакрилата (LA) со стеарилметакрилатом (SMA) на поверхности исходных мембран. В работе детально проанализировано влияние ключевых параметров, таких как концентрация мономеров, интенсивность и продолжительность ультрафиолетового облучения, на степень прививки и формирование модифицированного поверхностного слоя. Для оценки характеристик модифицированных мембран использованы методы измерения краевого угла смачивания, определения пористости, а также спектроскопический и элементный анализ химической структуры поверхности. Полученные данные подтвердили высокую эффективность выбранных методов и продемонстрировали возможность значительного увеличения гидрофобности мембран. Такие улучшения обеспечивают повышение селективности, устойчивости к смачиванию и эксплуатационной надежности мембран в условиях МД, что расширяет перспективы их практического применения в опреснении, очистке сточных вод и получении чистой питьевой воды.

**ТРЕКОВЫЕ МЕМБРАНЫ, ПРИВИВОЧНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ, МЕМБРАННАЯ
ДИСТИЛЛЯЦИЯ, ОЧИСТКА ВОДЫ, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ**

1 Введение

Проблема дефицита водных ресурсов является одной из ключевых как в мире, так и в Казахстане. Казахстан в настоящий момент уже начинает ощущать нехватку водных ресурсов, и возможно столкнется с существенным дефицитом к 2040 году, так как происходит изменение климата, а также из-за того, что более 40% рек формируются на территориях соседних государств. Кроме того, актуальной остается проблема очистки сточных вод, в том числе от радионуклидов (ядерных реакторов, техногенных загрязнений и др.). Поиск эффективных и надежных методов очистки сточных и природных вод является актуальной проблемой. На сегодняшний день наиболее перспективными методами очистки воды являются процессы мембранного разделения, которые характеризуются низкими энергозатратами, высокой селективностью и эффективностью.

Наиболее распространенными мембранными технологиями очистки воды являются обратный и прямой осмос, нано-, ультра- микрофильтрация и мембранная дистилляция (МД) [1]. За последнее десятилетие интерес к разработке и совершенствованию МД возрос из-за высоких показателей степени очистки нелетучих компонентов, высоких коэффициентов разделения и дезактивации, низкого давления процесса, высокой энергоэффективности и меньшей чувствительности к загрязнению и солености воды [1–4].

К настоящему времени изучена очистка воды МД от солей [5–9], красителей [10], ионов тяжелых металлов, радиоактивных отходов [11,12]. Более того, МД начали использовать для уже эксплуатируемых некоторыми компаниями опреснительных установок [13].

Процесс МД можно разделить на четыре типа конфигураций, наиболее изученным типом, несмотря на некоторые ограничения [1,14], является конструкция прямого контакта (DCMD) из-за ее простоты и доступности. Поливинилиденфторид, полипропилен и политетрафторэтилен считаются наиболее приемлемыми материалами для использования в качестве основы мембран для мембранной дистилляции [15–19], в то же время основными недостатками этих полимеров являются быстрое загрязнение, недостаточная пропускная способность воды и высокая стоимость [1]. Таким образом, задача поиска новых типов мембран и материалов с хорошими гидрофобными свойствами и высокой степенью очистки является актуальной.

ТМ изготавливаются из тонких полимерных пленок, облучаемых пучком тяжелых ионов на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60. Далее облученные полимеры обрабатываются химическим травлением и, как следствие, могут быть получены мембраны с цилиндрическими порами с диаметром в диапазоне 0,02 - 5,0 мкм и количеством пор от 10^5 до 10^{10} пор на см^2 . Однако для эффективного применения ТМ в процессах МД, необходимо модифицирование

поверхности. Разработка способов целенаправленного изменения свойств ПЭТФ ТМ без затрагивания его химической структуры представляет собой важную технологическую задачу. Целью таких методов является достижение необходимых физико-химических и эксплуатационных характеристик материала.

В данной статье представлены методы гидрофобизации мембран путем прививочной полимеризации лаурилметакрилата и сополимеризации лаурилакрилата и стеарилметакрилата.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Методы получения и модификации ПЭТФ ТМ

Мембраны получали путем облучения полимерных ПЭТФ пленок на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60, и последующего травления в растворе гидроксида натрия концентрацией 2,2 М при определенном времени. Затем образцы промывали в 5% растворе уксусной кислоты и воды, сушили.

Сначала модификацию ПЭТФ ТМ осуществляли методом фотоинициированной прививочной полимеризации лаурилметакрилатом (LMA). Для этого образцы (10×15 см, плотность пор 1×10^6 ион/см²) предварительно очищали ультразвуковой промывкой в деионизированной воде, после чего высушивали при комнатной температуре. Далее образцы погружали в 5% раствор бензофенона в ДМФА на 24 часа, а затем промывали этанолом и снова высушивали. После подготовки образцы помещали в раствор лаурилметакрилата в 2-пропанол (10–30%) с добавлением 0,0016 М бензофенона. В качестве растворителя использовали 2-пропанол благодаря его прозрачности в УФ-диапазоне, хорошей растворимости в мономере и низкой стоимости. Перед полимеризацией раствор насыщали аргоном для удаления кислорода. Процесс прививочной полимеризации проводили под УФ-лампой OSRAM Ultra Vitalux E27 (UVA: 315–400 нм, 13,6 Вт; UVB: 280–315 нм, 3,0 Вт) в течение 15–60 минут. На завершающем этапе образцы промывали в гексане для удаления маслянистых остатков, сушили и взвешивали для оценки степени прививки.

Также была проведена прививочная сополимеризация лаурилакрилата (LA) и стеарилметакрилата (SMA). Образцы размером 10×15 см предварительно очищали ультразвуковой обработкой в деионизированной воде, затем высушивали при комнатной температуре. После этого их погружали в 5% раствор бензофенона в ДМФА на 24 часа, затем промывали этанолом и снова высушивали. Далее образцы помещали в раствор лаурилакрилата и стеарилметакрилата в 2-пропанол (концентрация 10%) с различными соотношениями мономеров (50:50, 30:70, 10:90, 90:10, 5:95), а также 0,0016 М раствором бензофенона. В качестве растворителя использовали 2-пропанол благодаря его прозрачности в УФ-диапазоне, хорошей растворимости мономеров и низкой стоимости. Перед началом реакции смесь

насыщали аргоном для удаления кислорода. Процесс прививочной сополимеризации осуществляли под воздействием УФ-лампы OSRAM Ultra Vitalux E27 (UVA: 315–400 нм, 13,6 Вт; UVB: 280–315 нм, 3,0 Вт) в течение 15–60 минут. После завершения реакции образцы промывали в гексане для удаления маслянистых остатков, сушили и взвешивали для оценки степени прививки.

2.2 Методы характеристики мембран

Для изучения химических групп до и после модификации были сняты ИК-спектры с помощью ИК-Фурье спектрометра «ИнфРАЛЮМ® ФТ-08» с приставкой НПВО (GladiATR, Pike). Измерения проводились в диапазоне от 400 до 4000 см⁻¹, количестве сканирований – 32 при температуре 21-25°C.

Гидрофобные характеристики полученных ПЭТФ ТМ были изучены с помощью измерения краевого угла смачивания. Краевой угол смачивания (КУС) измеряли в пяти различных положениях образца с использованием цифрового микроскопа с 1000-кратным увеличением методом статической капли при комнатной температуре. Объем капли составил 15 мкл.

Размер пор мембран дополнительно измеряли методом газопроницаемости при давлении 20 кПа. Степень прививки определяли гравиметрически.

Подробно описываются все материалы и методы исследования. Описание материалов и методов должно обеспечивать возможность повторения проведенных исследований читателями.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Фотоиницированная прививочная полимеризация лаурилметакрилата

На рисунке 1 представлены зависимости концентрации мономера и времени облучения на степень прививки. Данные также представлены в таблице 1. Видно, что оптимальным условием для реакции является концентрация LMA – 30%, дальнейшее увеличение концентрации приводит к образованию гомополимера и деградации поверхности ПЭТФ ТМ. Таблица 1 – Характеристики ПЭТФ ТМ до и после модификации LMA (время травления – 12 мин)

	Время облучения, мин	Концентрация мономера, %	Степень прививки, %	Эффективный диаметр пор, нм
ПЭТФ ТМ	0	-	-	1996±17
ПЭТФ ТМ-g-LMA	15	30	0,62	1773±16
ПЭТФ ТМ-g-LMA	30	30	1,77	1445±21
ПЭТФ ТМ-g-LMA	45	30	3,2	1415±33
ПЭТФ ТМ-g-LMA	60	30	6,84	1298±7
ПЭТФ ТМ-g-LMA	60	10	0,6	1697±23
ПЭТФ ТМ-g-LMA	60	20	1,74	1466±35

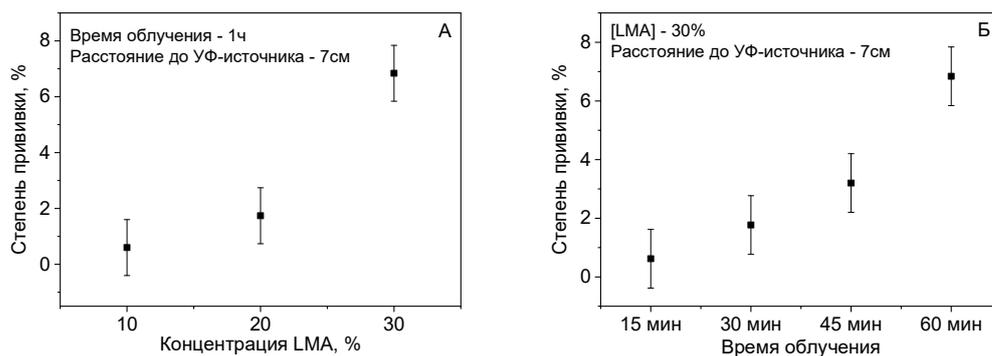


Рисунок 1 - Зависимость степени прививки от концентрации LMA (а) и времени облучения (б) на степень прививки.

На рисунке 2 и 3 представлены микрофотографии КУС исходной и модифицированной ПЭТФ ТМ. Видно, что увеличение концентрации LMA до 30% приводит к максимальному значению КУС - 94° .

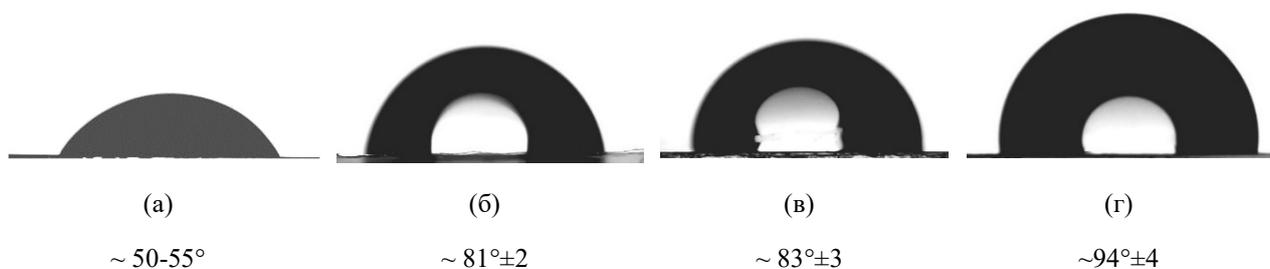


Рисунок 2 - Микрофотографии КУС исходной (а) ПЭТФ ТМ, модифицированной LMA (10%) (б); (20%) (в); 30% (г)



Рисунок 3 - Микрофотографии КУС исходной (а) ПЭТФ ТМ, при времени облучения 15 мин (б), 30 мин (в), 45 мин (г)

На рисунке 4 представлены ИК-спектры мембран до и после модификации. Также характерным отличием является появление С-Н пиков гидрофобного полимера, причем наблюдается увеличение интенсивности при увеличении концентрации LMA.

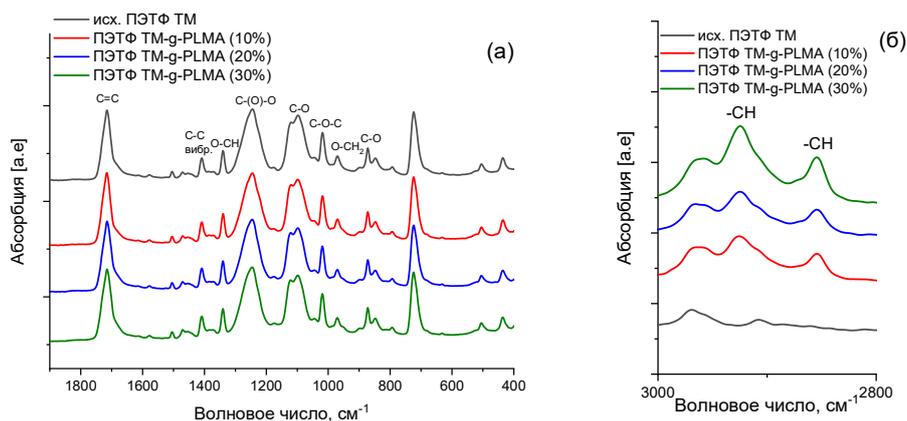


Рисунок 4 - ИК-спектры исходной, модифицированной ПЭТФ ТМ-g-LMA в диапазонах $1900-400 \text{ см}^{-1}$ (а), $3000-2800 \text{ см}^{-1}$ (б)

3.2 Фотоиницированная прививочная сополимеризация лаурилата и стеарилметакрилата

На рисунке 5 представлены зависимости соотношений двух мономеров на степень прививки. Видно, что при соотношении мономеров 5:95 степень прививки достигает максимального значения.

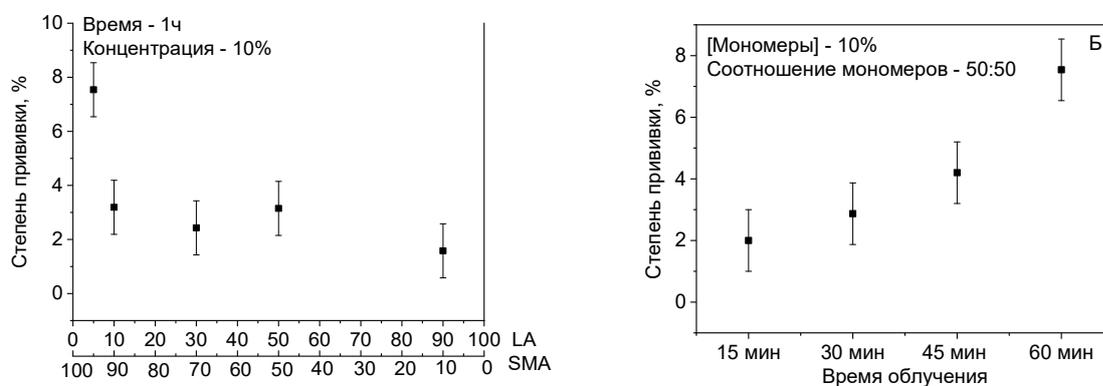


Рисунок 5 - Зависимость соотношений концентрации мономеров (LA и SMA) и времени облучения на степень прививки

На рисунке 6 представлены фотографии капель, в таблице 2 показаны данные по КУС, откуда видно, что максимальная гидрофобизация достигается до 92° . В таблице представлены показатели степени прививки, краевого угла смачивания (КУС) и эффективного диаметра пор. Немодифицированный материал обладает краевым углом смачивания $50-55^\circ$ и эффективным диаметром пор $2759 \pm 21 \text{ нм}$. После модификации эти параметры изменяются в зависимости от соотношения LA и SMA. Например, при соотношении 50:50 степень прививки составляет 3,15%, угол смачивания увеличивается до $76 \pm 2^\circ$, а диаметр пор уменьшается до $2536 \pm 24 \text{ нм}$. При увеличении доли SMA до 70% угол смачивания возрастает до $78 \pm 3^\circ$, а диаметр пор

сокращается до 2166 ± 21 нм. Максимальное гидрофобное свойство наблюдается при соотношении 5:95, где угол смачивания достигает $92 \pm 2^\circ$, степень прививки составляет 7,54%, а диаметр пор остается на уровне 2668 ± 34 нм. Напротив, при соотношении 90:10 угол смачивания снижается до $63 \pm 2^\circ$, а диаметр пор практически не изменяется по сравнению с исходным материалом.

Таблица 2 – Характеристики ПЭТФ ТМ до и после модификации LA и SMA (время травления – 15 мин, концентрация мономеров – 10%, время облучения – 60 мин)

№ образца	Степень прививки, %	КУС, °	Эффективный диаметр пор, нм
ПЭТФ ТМ	-	50-55	2759±21
ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (50:50)	3,15	76±2	2536±24
ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (30:70)	2,43	78±3	2166±21
ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (10:90)	3,19	79±2	1864±37
ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (90:10)	1,58	63±2	2668±47
ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (5:95)	7,54	92±2	2668±34

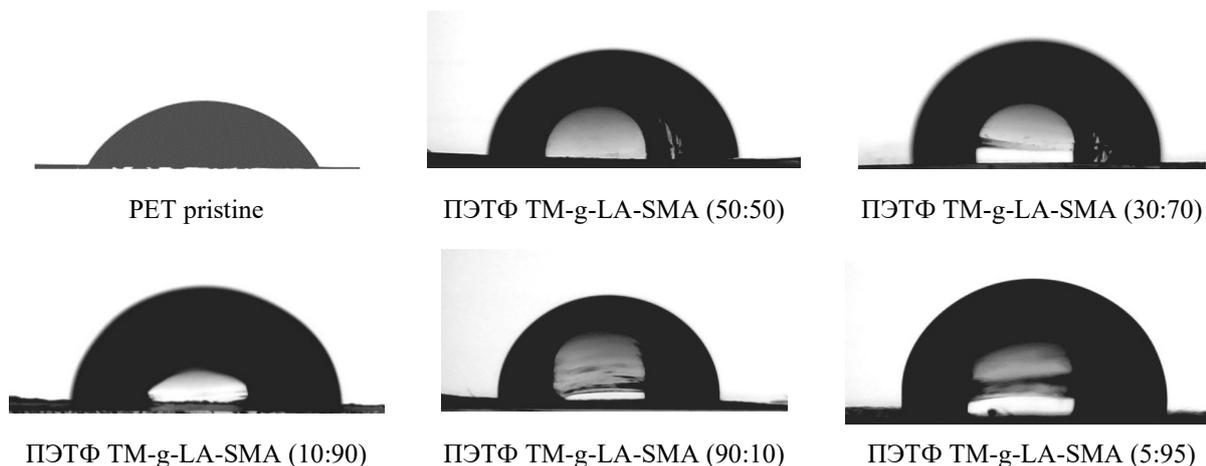


Рисунок 6 - Микрофотографии КУС исходных и модифицированных ПЭТФ ТМ

На рисунке 7 представлены ИК-спектры полученных образцов. ИК-спектры, представленные на изображении, демонстрируют изменения в структуре ПЭТФ ТМ после модификации путем прививки лаурилактилата (LA) и стеарилметакрилата (SMA) при различных соотношениях мономеров. Наблюдаются полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям C–H в алкильных группах. Их интенсивность возрастает после модификации, что указывает на прививку алифатических фрагментов, характерных для LA и SMA. Наибольшая интенсивность этих полос отмечается у образца ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA (5:95), что связано с высоким содержанием гидрофобных алкильных цепей в стеарилметакрилате. В области 1720 см^{-1} наблюдается интенсивная полоса, соответствующая валентным колебаниям C=O в сложных эфирах, что подтверждает наличие привитых

мономеров. В диапазоне $1250\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ регистрируются колебания С–О, характерные для полиэфирной структуры. После модификации изменяется интенсивность этих полос, что свидетельствует о частичной замене функциональных групп на новые привитые фрагменты.

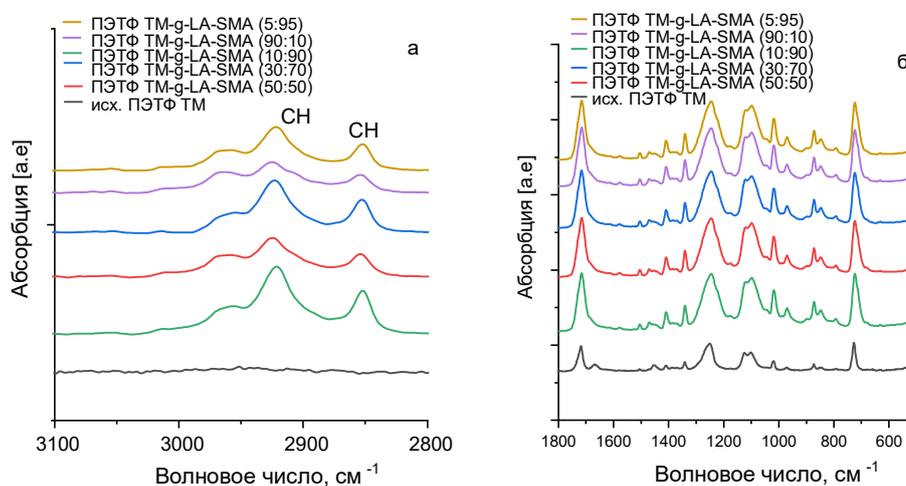


Рисунок 7 - ИК-спектры исходной, модифицированной ПЭТФ ТМ-g-LA-SMA в диапазонах $3100\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ (а), $1800\text{--}500\text{ см}^{-1}$ (б)

В целом, спектры подтверждают успешную прививку мономеров LA и SMA к ПЭТФ ТМ, изменяя его химическую структуру и поверхность за счет появления дополнительных функциональных групп.

4 Заключение

В результате проведенных исследований были разработаны методы модификации трековых мембран из полиэтилентерефталата с использованием фотоиницированной прививочной полимеризации лаурилметакрилата и сополимеризации лаурилкакрилата со стеарилметакрилатом. Определены оптимальные условия для достижения максимальной степени прививки, включая концентрацию мономеров, время облучения и соотношение мономеров в реакционной смеси.

Полученные модифицированные мембраны продемонстрировали значительное улучшение гидрофобных характеристик, что подтверждается увеличением краевого угла смачивания и изменениями в химической структуре поверхности, зафиксированными с помощью ИК-спектроскопии. Также установлено, что степень прививки влияет на размер пор мембран, обеспечивая возможность регулирования их свойств в зависимости от требований к процессу мембранной дистилляции.

Благодарности. Работа выполнена в рамках программы BR23891691 финансируемой Министерством энергетики Республики Казахстан, а также в рамках проекта AP14869096, финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список использованных источников

- 1 González D., Amigo J., Suárez F. Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 80. – P. 238–259.
- 2 Eykens L. et al. Coating techniques for membrane distillation: An experimental assessment // *Separation and Purification Technology*. – 2017. – Vol. 193. – P. 38–48.
- 3 Khayet M.S., Matsuura T. *Membrane distillation : principles and applications*. – Elsevier, 2011. 477 p.
- 4 Zhang J. et al. Identification of material and physical features of membrane distillation membranes for high performance desalination // *Journal of Membrane Science*. – 2010. – Vol. 349. - № 1–2. – P. 295–303.
- 5 Zuo J., Bonyadi S., Chung T.S. Exploring the potential of commercial polyethylene membranes for desalination by membrane distillation // *Journal of Membrane Science*. –2016. – Vol. 497. – P. 239–247.
- 6 McGaughey A.L., Gustafson R.D., Childress A.E. Effect of long-term operation on membrane surface characteristics and performance in membrane distillation // *Journal of Membrane Science*. – 2017. – Vol. 543. – P. 143–150.
- 7 Banat F.A., Simandl J. Desalination by Membrane Distillation: A Parametric Study // *Separation Science and Technology*. – 1998. – Vol. 33. - № 2. – P. 201–226.
- 8 Larbot A. et al. Water desalination using ceramic membrane distillation // *Desalination*. – 2004. – Vol. 168. – P. 367–372.
- 9 Alklaibi A.M., Lior N. Membrane-distillation desalination: Status and potential // *Desalination*. – 2005. – Vol. 171. - № 2. – P. 111–131.
- 10 Criscuoli A. et al. Treatment of dye solutions by vacuum membrane distillation // *Water Research*. – 2008. – Vol. 42. - № 20. – P. 5031–5037.
- 11 Jia F., Yin Y., Wang J. Removal of cobalt ions from simulated radioactive wastewater by vacuum membrane distillation // *Progress in Nuclear Energy*. – 2018. – Vol. 103. – P. 20–27.
- 12 Jia F. et al. Removal of strontium ions from simulated radioactive wastewater by vacuum membrane distillation // *Annals of Nuclear Energy*. – 2017. – Vol. 103. – P. 363–368.

13 Achmad Chafidz, Saeed Al-Zahrani, Mansour N.Al-Otaibi, Choo F.Hoong, Tan F.Lai M.P. Portable and integrated solar-driven desalination system using membrane distillation for arid remote areas in Saudi Arabia // *Desalination*. – 2014. – Vol. 345. – P. 36–49.

14 Ashoor B.B. et al. Principles and applications of direct contact membrane distillation (DCMD): A comprehensive review // *Desalination*. – 2016. – Vol. 398. – P. 222–246.

15 Wang P., Chung T.-S. Recent advances in membrane distillation processes: Membrane development, configuration design and application exploring // *Journal of Membrane Science*. – 2015. – Vol. 474. – P. 39–56.

16 Singh D., Sirkar K.K. Performance of PVDF Flat Membranes and Hollow Fibers in Desalination by Direct Contact Membrane Distillation at High Temperatures // *Separation and Purification Technology*. – 2017. – Vol. 187. – P. 264–273.

17 Zhao D. et al. Fluorographite modified PVDF membranes for seawater desalination via direct contact membrane distillation // *Desalination*. – 2017. – Vol. 413. – P. 119–126.

18 Zhang Y. et al. Enhancing wetting resistance of poly(vinylidene fluoride) membranes for vacuum membrane distillation // *Desalination*. – 2017. – Vol. 415. – P. 58–66.

19 Varij Panwar, Cheong Lee S.Y.K. Dynamic mechanical, electrical, and actuation properties of ionic polymer metal composites using PVDF/PVP/PSSA blend membranes // *Materials Chemistry and Physics*. – 2012. – Vol. 135. - № 2–3. – P. 928–937.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1 Есжанов Арман Бахытжанович, магистр химических наук. Младший научный сотрудник Астанинского филиала Института ядерной физики Республики Казахстан. e-mail: a.yezhanov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-1328-8678>.

2 Корольков Илья Владимирович, PhD, доцент. Старший научный сотрудник Астанинского филиала Института ядерной физики Республики Казахстан. e-mail: i.korolkov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-0766-2803>.

3 Здоровец Максим Владимирович, кандидат физико-математических наук, профессор. Директор Астанинского филиала Института ядерной физики Республики Казахстан. e-mail: mzdorovets@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0003-2992-1375>.

Отправлено: 28.02.2025

Исправлено: 25.03.2025

Принято: 28.03.2025

**ЛАУРИЛМЕТАКРИЛАТТЫҢ ФОТОИНИЦИАЦИЯЛАНҒАН ҚОНДЫРМА
ПОЛИМЕРЛЕНУІ ЖӘНЕ ЛАУРИЛАКРИЛАТ ПЕН СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТТЫҢ
ҚОСПОЛИМЕРЛЕНУІН ПЭТФ ТРЕКТІК МЕМБРАНАЛАРҒА ҚОЛДАНУ**

А.Б. Есжанов, И.В. Корольков*, М.В. Здоровец

Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Ядролық физика институты, Алматы,
Қазақстан

**i.korolkov@inp.kz*

АҢДАТПА

Бұл мақалада полиэтилентерефталат (ПЭТФ) негізінде алынған трекалық мембраналарды (ТМ) гидрофобтық қасиеттерін арттыру және мембраналық дистилляция (МД) процестеріндегі тиімділігін жоғарылату мақсатында модификациялау әдістерінің нәтижелері ұсынылған. Негізгі назар лаурилметакрилаттың (LMA) фотоинициацияланған қондырмалы полимеризациясына, сондай-ақ лаурилакрилаттың (LA) стеарилметакрилатпен (SMA) сополимеризациясына аударылды. Зерттеу барысында мономер концентрациясы, сәулелендіру қарқындылығы және ультракүлгін әсер ету уақыты сияқты параметрлердің қондырма дәрежесіне және беткі қабаттың түзілуіне ықпалы жан-жақты талданды. Модификацияланған мембраналардың қасиеттерін бағалау үшін сулы ерітіндімен жанасу бұрышы, кеуектілік деңгейі және химиялық құрылымы спектроскопиялық және элементтік талдау әдістерімен зерттелді. Алынған нәтижелер таңдалған модификация тәсілдерінің тиімділігін дәлелдеп, мембраналардың гидрофобтылығын едәуір арттыру мүмкіндігін көрсетті. Мұндай жетілдірулер мембраналардың селективтілігі мен сулануға төзімділігін арттырып, МД жағдайындағы тұрақтылығын қамтамасыз етеді, нәтижесінде оларды тұщыландыру, ағынды суларды тазарту және таза ауыз су өндіру процестерінде қолдану мүмкіндігін кеңейтеді.

**ТРЕКТІК МЕМБРАНАЛАР, ЕГУ ПОЛИМЕРЛЕНУІ, МЕМБРАНЛЫҚ ДИСТИЛЛЯЦИЯСЫ,
СУ ТАЗАЛАУ, ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ**

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР

1 Есжанов Арман Бахытжанович, химия ғылымдарының магистрі. Қазақстан Республикасы Ядролық физика институтының Астана филиалының кіші ғылыми қызметкері. e-mail: a.yezhanov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-1328-8678>.

2 Корольков Илья Владимирович, PhD, доцент. Қазақстан Республикасы Ядролық физика институтының Астана филиалының аға ғылыми қызметкері. e-mail: i.korolkov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-0766-2803>.

3 Здоровец Максим Владимирович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор. Қазақстан Республикасы Ядролық физика институтының Астана филиалының директоры. e-mail: mzdorovets@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0003-2992-1375>.

**PHOTO-INITIATED GRAFT POLYMERIZATION OF LAURYL METHACRYLATE
AND COPOLYMERIZATION OF LAURYL ACRYLATE AND STEARYL
METHACRYLATE ON PET TRACK-ETCHED MEMBRANES**

A. Yeszhanov, I. Korolkov*, M. Zdorovetz

Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, Almaty,
Kazakhstan

**i.korolkov@inp.kz*

ANNOTATION

This article presents the results of a study on the modification of track-etched membranes (TM) based on polyethylene terephthalate (PET) aimed at enhancing their hydrophobic properties and improving efficiency in membrane distillation (MD) processes. Particular attention was given to photo-initiated graft polymerization of lauryl methacrylate (LMA) as well as copolymerization of lauryl acrylate (LA) with stearyl methacrylate (SMA) on the surface of the membranes. The influence of key parameters, including monomer concentration, irradiation intensity, and ultraviolet exposure time, on the grafting degree and the formation of the modified surface layer was analyzed in detail. The modified membranes were characterized by measuring water contact angle, porosity, and chemical composition using spectroscopic and elemental analysis. The findings confirmed the effectiveness of the chosen modification methods and demonstrated the possibility of significantly improving membrane hydrophobicity. Such improvements enhance membrane selectivity, resistance to wetting, and operational stability under MD conditions, broadening prospects for practical application in desalination, wastewater treatment, and advanced water purification processes.

TRACK MEMBRANES, GRAFTING POLYMERIZATION, MEMBRANE DISTILLATION,
WATER PURIFICATION, POLYETHYLENE TEREPHTALATE

AUTHOR INFORMATION

1 Arman Yeszhanov, Master of Chemical Sciences. Astana Branch, Institute of Nuclear Physics of the Republic of Kazakhstan, Junior Researcher. e-mail: a.yeszhanov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-1328-8678>.

2 Ilya Korolkov, PhD, Associated Professor. Astana branch, Institute of Nuclear Physics of the Republic of Kazakhstan, Senior Researcher. e-mail: i.korolkov@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0002-0766-2803>.

3 Maxim Zdorovets, Candidate of Physical and Mathematical Science, Professor. Astana Branch, Institute of Nuclear Physics of the Republic of Kazakhstan, Director. e-mail: mzdorovets@inp.kz. <https://orcid.org/0000-0003-2992-1375>.