Статья поступила в редакцию: 06.10.2026
Статья принята к публикации: 23.10.2026
Статья опубликована: 07.11.2026

УДК 678.674+541.183.2

DOI: 10.32743/UniChem.2026.149.11.23610

Исследование оптимальных параметров получения ионообменного материала на основе полиэтилентерефталата, модифицированного полиэтиленимином

Исмаилов Ровшан Исраилович
д-р хим. наук, проф.
Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: r.i.ismailov1972@gmail.com

Буриева Гулбиби Тожибой кизи
соискатель
Ташкентский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Investigation of optimal parameters for producing an ion-exchange material based on polyethylene terephthalate modified with polyethyleneimine

Ismailov Rovshan Israilovich
doctor of Chemical Sciences, Professor
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Burieva Gulbibi Tozhiboy kizi
postgraduate, Researcher
Tashkent State Technical University
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В работе исследованы закономерности получения ионообменного материала на основе полиэтилентерефталата, химически модифицированного полиэтиленимином. Рассмотрено влияние температуры, концентрации полиэтиленимина и продолжительности процесса модификации на статическую обменную ёмкость получаемого ионита. Модификацию полиэтилентерефталата проводили при температурах 50, 70, 80, 90 и 100 °C. Установлено, что повышение температуры сопровождается увеличением статической обменной ёмкости материала: от 1,2 до 4,6 мг-экв/г. Исследовано влияние концентрации полиэтиленимина в диапазоне 20–100 %. Максимальное значение обменной ёмкости 4,6 мг-экв/г получено при

Библиографическое описание: Исмаилов Р.И., Буриева Г.Т. кизи Исследование оптимальных параметров получения ионообменного материала на основе полиэтилентерефталата, модифицированного полиэтиленимином // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 11(149). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23610

концентрации полиэтиленимина 80 %. Изучено влияние продолжительности процесса модификации в интервале от 2 до 18 ч. Показано, что увеличение продолжительности реакции до 12 ч приводит к росту обменной ёмкости, после чего дальнейшее увеличение времени практически не изменяет данный показатель. На основании совокупности полученных результатов установлены оптимальные параметры процесса: температура 100 °C, концентрация полиэтиленимина 80 % и продолжительность модификации 12 ч. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности химической модификации полиэтилентерефталата с полиэтиленимином для получения полимерных ионообменных материалов.

Abstract

This study investigates the principles of producing an ion-exchange material based on polyethylene terephthalate chemically modified with polyethyleneimine. The effects of temperature, polyethyleneimine concentration, and modification duration on the static exchange capacity of the resulting ion exchanger were examined. The modification of polyethylene terephthalate was carried out at temperatures of 50, 70, 80, 90, and 100°C. It was found that increasing the temperature leads to an increase in the material's static exchange capacity, ranging from 1.2 to 4.6 meq/g. The influence of polyethyleneimine concentration was investigated within the 20–100 % range; a maximum exchange capacity of 4.6 meq/g was achieved at a concentration of 80 %. The effect of modification duration was studied over an interval of 2 to 18 hours. It was shown that extending the reaction time up to 12 hours increases the exchange capacity, whereas further increases in time result in virtually no change to this parameter. Based on the collective results, the optimal process parameters were determined to be a temperature of 100°C, a polyethyleneimine concentration of 80 %, and a modification duration of 12 hours. The findings demonstrate the potential of chemically modifying polyethylene terephthalate with polyethyleneimine for the production of polymeric ion-exchange materials.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, полиэтиленимин, ионит, химическая модификация, статическая обменная ёмкость, кинетика модификации, полимерные материалы.

Keywords: polyethylene terephthalate, polyethyleneimine, ion exchanger, chemical modification, static exchange capacity, modification kinetics, polymeric materials.

Введение

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) относится к числу широко применяемых полиэфирных полимеров и используется при производстве полимерной тары, волокон, плёнок и других изделий. Высокая механическая прочность, химическая устойчивость и технологичность обусловливают широкое применение данного материала. Вместе с тем интенсивное использование ПЭТ приводит к накоплению значительных объёмов полимерных отходов, что определяет необходимость разработки эффективных методов их вторичной переработки и дальнейшего функционального использования.

Одним из перспективных направлений переработки полимерных отходов является их химическая модификация с целью придания исходному материалу новых функциональных свойств. В частности, введение в структуру полимера функциональных групп, способных участвовать в ионном обмене и комплексообразовании, позволяет получать материалы, применимые в процессах очистки и разделения различных водных систем [4; 2; 6; 14; 18–20].

Структура ПЭТ содержит сложноэфирные функциональные группы, которые могут участвовать в реакциях химической функционализации. Использование аминсодержащих соединений в качестве модифицирующих агентов представляет интерес вследствие возможности введения в полимерную матрицу азотсодержащих функциональных групп.

Полиэтиленимин (ПЭИ) является полимерным амином, содержащим большое количество первичных и вторичных аминогрупп. Наличие таких функциональных центров может обеспечивать взаимодействие модифицированного материала с различными ионами за счёт электростатического взаимодействия, ионного обмена и комплексообразования. Поэтому модификация ПЭТ с ПЭИ может рассматриваться как один из способов получения функционального полимерного материала с ионообменными свойствами [1; 5; 7; 8; 11; 15–17].

Получение ионообменных материалов на основе полимерных отходов имеет также экологическую значимость, поскольку позволяет одновременно расширить сырьевую базу для производства сорбционных материалов и снизить количество полимерных отходов, поступающих в окружающую среду.

Ранее были опубликованы исследования, посвящённые получению ионообменных материалов на основе различных полимерных соединений и их применению для очистки сточных вод и извлечения металлических ионов [3; 9; 10; 12; 13]. Вместе с тем получение функционального ионообменного материала на основе ПЭТ с использованием полиэтиленимина требует определения оптимальных технологических параметров процесса модификации.

Целью настоящей работы являлось исследование процесса химической модификации полиэтилентерефталата полиэтиленимином и установление оптимальных значений температуры, концентрации модифицирующего агента и продолжительности реакции по величине статической обменной ёмкости получаемого ионита.

Материалы и методы исследования

В качестве исходного полимерного материала использовали полиэтилентерефталат (гранулят из вторичных отходов), а в качестве модифицирующего агента — полиэтиленимин (branched PEI).

Для обеспечения высокой точности и воспроизводимости эксперимента использовались следующие приборы и лабораторное оборудование:

• Термостат жидкостный лабораторный (циркуляционный термостат LOIP LB-80, класс точности ±0,1 °C) — для поддержания заданной температуры реакционной смеси.

• Магнитная мешалка с подогревом (IKA C-MAG HS 7, точность поддержания температуры ±5 °C, скорость перемешивания 100–1500 об/мин) — для интенсивного перемешивания суспензии.

• Мерная посуда (мерные колбы класса точности А по ГОСТ 1770-74, пипетки и бюретки 2-го класса точности с делениями) — для отбора аликвот и приготовления растворов реагентов.

• Титровальное оборудование (автоматический титратор или комплект для ручного титрования с микробюреткой вместимостью 25 мл, класс точности 0,1) — для проведения кислотно-основного титрования.

Основным критерием эффективности проведённой модификации являлась статическая обменная ёмкость (СОЕ) полученного анионита. Определение СОЕ проводили в соответствии с ГОСТ 20255.1–89 «Иониты. Методы определения статической обменной ёмкости».

Для определения статической обменной ёмкости точную навеску ионита массой 1,0 г (взвешенную на аналитических весах с погрешностью до 0,0001 г) помещали в плоскодонную коническую колбу вместимостью 250 мл. К образцу добавляли 200 мл 0,1 н раствора HCl. Суспензию выдерживали в течение 24 ч с периодическим перемешиванием.

После завершения процесса ионит отделяли фильтрованием через бумажный фильтр «белая лента». Из полученного фильтрата отбирали пипеткой аликвоту объёмом 25 мл и титровали 0,1 н раствором NaOH в присутствии смешанного индикатора до изменения окраски.

Статическую обменную ёмкость (СОЕ, мг-экв/г) рассчитывали по формуле в соответствии с ГОСТ 20255.1–89:

$$\text{СОЕ} = \frac{(V_1 \cdot K_1 - V_2 \cdot K_2) \cdot V_{\text{общ}}}{m \cdot V_{\text{алик}}}$$

где:

V_1 — объем 0,1 н раствора HCl, взятого для взаимодействия с ионитом, мл;

K_1 — поправочный коэффициент к нормальности 0,1 н раствора HCl;

V_2 — объем 0,1 н раствора NaOH, израсходованного на титрование избытка кислоты в аликвоте, мл;

K_2 — поправочный коэффициент к нормальности 0,1 н раствора NaOH;

$V_{\text{общ}}$ — общий объем фильтрата после отделения ионита, мл;

$V_{\text{алик}}$ — объем аликвоты фильтрата, взятой для титрования, мл;

m — масса навески воздушно-сухого ионита, г.

Исследование влияния температуры проводили при 50, 70, 80, 90 и 100 °С. Продолжительность модификации при изучении влияния температуры составляла 12 ч (при мольном соотношении ПЭТ: ПЭИ = 1: 2).

Для определения влияния концентрации полиэтиленимина использовали растворы с концентрацией 20, 40, 60, 80 и 100 %. Продолжительность процесса составляла 12 ч.

Влияние продолжительности модификации исследовали при температуре 100 °С и концентрации ПЭИ 80 %. Продолжительность реакции изменяли от 2 до 18 ч.

Основным критерием эффективности проведённой модификации являлась статическая обменная ёмкость (СОЕ) полученного анионита. Определение СОЕ проводили в соответствии с ГОСТ 20255.1 – 89 «Иониты. Методы определения статической обменной ёмкости».

Для определения статической обменной ёмкости навеску ионита массой 1,0 г помещали в плоскодонную колбу вместимостью 250 мл. К образцу добавляли 200 мл 0,1 н раствора HCl. Суспензию выдерживали в течение 24 ч с периодическим перемешиванием.

$$СОЕ = \frac{(200 \cdot К_1 - 200 / 25 \cdot а \cdot К_2) \cdot 0{,}00365 \cdot 1000}{36{,}5 \cdot g} = \frac{200 \cdot К_1 - 8 \cdot а \cdot К_2}{10 \cdot g}$$

где, а- объем 0,1н NaOH, израсходованного при титровании, мл;

$К_1$- поправка на нормальность 0,1н HCI;

$К_2$- поправка на нормальность 0,1н NaOH;

0,0036- титр 0,1н HCI;

36,5- молекулярная масса HCI;

g- навеска анионита, г.

После завершения процесса ионит отделяли фильтрованием. Из полученного фильтрата отбирали аликвоту объёмом 25 мл и титровали 0,1 н раствором NaOH в присутствии смешанного индикатора.

Статическую обменную ёмкость определяли по результатам титриметрического анализа. В исходном варианте статьи приведена формула расчёта СОЕ, однако сама формула в представленном материале отсутствует; поэтому для окончательной журнальной версии её необходимо вставить в соответствии с использованной методикой и ГОСТ 20255.1 – 89.

Исследование влияния температуры проводили при 50, 70, 80, 90 и 100 °С. Продолжительность модификации при изучении влияния температуры составляла 12 ч.

Для определения влияния концентрации полиэтиленимина использовали растворы с концентрацией 20, 40, 60, 80 и 100 %. Продолжительность процесса составляла 12 ч.

Влияние продолжительности модификации исследовали при температуре 100 °С и концентрации ПЭИ 80 %. Продолжительность реакции изменяли от 2 до 18 ч.

Результаты и их обсуждение

Влияние температуры на статическую обменную ёмкость

Одним из основных факторов, определяющих эффективность химической модификации полимерного материала, является температура проведения реакции.

В исследуемом диапазоне температур увеличение температуры приводило к повышению статической обменной ёмкости полученного ионита. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние температуры на статическую обменную ёмкость ионита

Температура °(	**50**	**70**	**80**	**90**	**100**
СОЕ	1,2	2,9	3,8	4,4	4,6

Как видно из таблицы 1, при повышении температуры от 50 до 100 °С величина СОЕ увеличивается с 1,2 до 4,6 мг-экв/г. Наиболее существенный рост показателя наблюдается в интервале 50–90 °С.

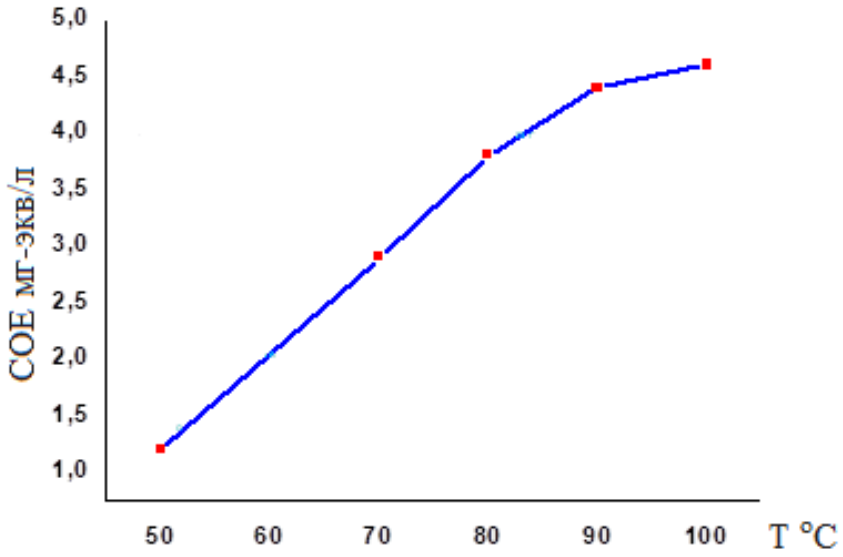


Рисунок 1. Влияние температуры на статическую обменную ёмкость ионита при модификации ПЭТ полиэтиленимином

При температуре 90 °С величина СОЕ составляет 4,4 мг-экв/г, тогда как при 100 °С достигает 4,6 мг-экв/г. Таким образом, дальнейшее повышение температуры до 100 °С приводит к относительно небольшому дополнительному увеличению обменной ёмкости.

Полученные результаты позволяют принять температуру **100 °С** в качестве оптимальной для последующих исследований влияния концентрации ПЭИ и продолжительности процесса.

Следует отметить, что в исходном материале для рисунка 1 указано мольное соотношение ПЭТ: ПЭИ = 1: 2.

Влияние концентрации полиэтиленимина

Следующим этапом исследования являлось установление зависимости статической обменной ёмкости от концентрации полиэтиленимина.

Эксперименты проводили при температуре 100 °С в течение 12 ч. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние концентрации ПЭИ на статическую обменную ёмкость ионита

СОЕ	**1,4**	**2,2**	**3,1**	**4,6**	**4,3**
С% ПЭИ	20	40	60	80	100

Из представленных данных следует, что при увеличении концентрации ПЭИ от 20 до 80 % величина статической обменной ёмкости возрастает от 1,4 до 4,6 мг-экв/г.

Максимальное значение СОЕ — 4,6 мг-экв/г — получено при концентрации ПЭИ 80 %. При дальнейшем увеличении концентрации до 100 % наблюдается некоторое снижение показателя до 4,3 мг-экв/г.

Таким образом, увеличение концентрации полиэтиленимина способствует повышению степени функционализации ПЭТ до определённого значения. При концентрации 80 % достигается максимальная величина исследуемого показателя. Дальнейшее увеличение концентрации модифицирующего агента не приводит к дополнительному росту обменной ёмкости.

Следовательно, концентрацию ПЭИ **80 %** можно принять в качестве оптимальной для исследуемого процесса.

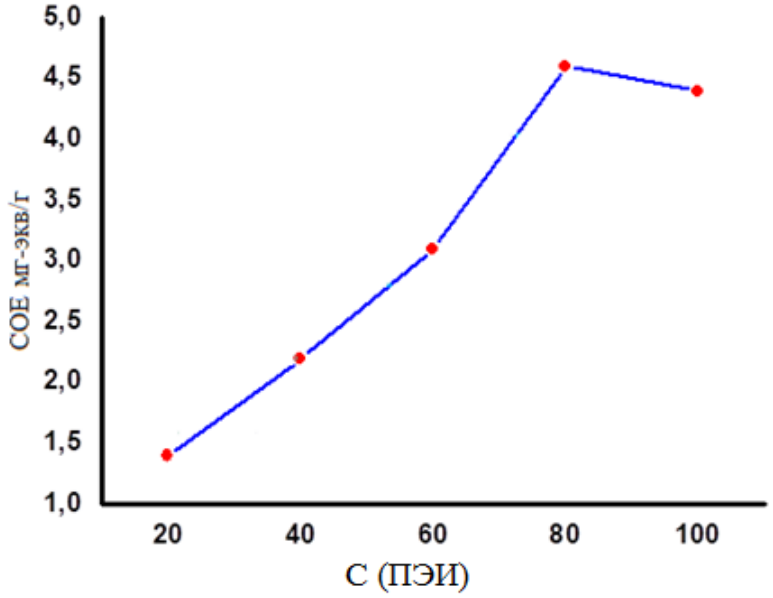


Рисунок 2. Зависимость статической обменной ёмкости ионита от концентрации полиэтиленимина при продолжительности модификации 12 ч

Влияние продолжительности модификации

Для определения оптимальной продолжительности процесса исследовали изменение статической обменной ёмкости во времени.

Эксперименты проводили при температуре 100 °С и концентрации ПЭИ 80 %. Продолжительность реакции составляла 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 18 ч.

Таблица 3. Влияние продолжительности модификации на статическую обменную ёмкость

СОЕ	0,8	1,3	2,8	3,7	4,4	4,6	4,6
t (час)	2	4	6	8	10	12	18

Полученные результаты показывают, что увеличение продолжительности модификации сопровождается закономерным повышением статической обменной ёмкости до 12 ч.

На начальном этапе процесса СОЕ увеличивается относительно быстро: при продолжительности 2 ч её значение составляет 0,8 мг-экв/г, а при 8 ч — уже 3,7 мг-экв/г. При увеличении продолжительности процесса до 10 ч величина СОЕ достигает 4,4 мг-экв/г.

Максимальное значение 4,6 мг-экв/г достигается после 12 ч проведения реакции. При дальнейшем увеличении продолжительности до 18 ч величина СОЕ практически не изменяется и сохраняется на уровне 4,6 мг-экв/г.

Это свидетельствует о достижении практически установившегося состояния процесса по исследуемому показателю. Дополнительное увеличение продолжительности реакции свыше 12 ч не обеспечивает повышения статической обменной ёмкости.

Таким образом, продолжительность **12 ч** является рациональным временем проведения модификации ПЭТ полиэтиленимином.

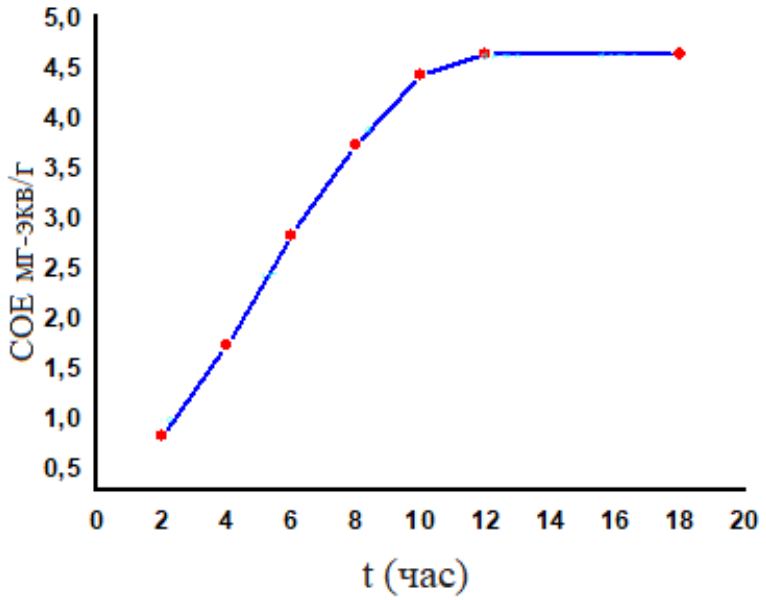


Рисунок 3. Зависимость статической обменной ёмкости ионита от продолжительности модификации при 100 °С и концентрации ПЭИ 80 %

Оптимальные параметры получения ионита

На основании проведённых исследований установлено влияние трёх основных технологических параметров — температуры, концентрации полиэтиленимина и продолжительности реакции — на статическую обменную ёмкость модифицированного ПЭТ.

При увеличении температуры от 50 до 100 °С СОЕ возрастает от 1,2 до 4,6 мг-экв/г. Повышение концентрации ПЭИ от 20 до 80 % сопровождается увеличением СОЕ от 1,4 до 4,6 мг-экв/г. Дальнейшее повышение концентрации до 100 % приводит к снижению показателя до 4,3 мг-экв/г.

Изучение продолжительности процесса показало, что СОЕ возрастает до 12 ч, после чего практически не изменяется. Поэтому дальнейшее увеличение времени реакции экономически и технологически нецелесообразно с точки зрения повышения обменной ёмкости.

Совокупность экспериментальных данных позволяет определить следующие оптимальные условия получения исследуемого ионообменного материала:

- температура модификации — **100 °C**;
- концентрация ПЭИ — **80 %**;
- продолжительность процесса — **12 ч**;
- максимальная статическая обменная ёмкость — **4,6 мг-экв/г**.

Заключение

В результате проведённых исследований изучена химическая модификация полиэтилентерефталата полиэтиленимином с целью получения функционального анионообменного материала.

Установлено, что температура является существенным фактором, влияющим на величину статической обменной ёмкости. При повышении температуры от 50 до 100 °C СОЕ увеличивается с 1,2 до 4,6 мг-экв/г.

Исследовано влияние концентрации полиэтиленимина. Максимальная статическая обменная ёмкость 4,6 мг-экв/г достигается при концентрации ПЭИ 80 %. При дальнейшем увеличении концентрации до 100 % наблюдается некоторое снижение СОЕ до 4,3 мг-экв/г.

Изучение кинетики процесса показало, что увеличение продолжительности модификации до 12 ч приводит к росту статической обменной ёмкости. При дальнейшем увеличении продолжительности до 18 ч существенного изменения показателя не наблюдается.

На основании полученных результатов определены оптимальные параметры модификации ПЭТ полиэтиленимином: температура 100 °C, концентрация ПЭИ 80 % и продолжительность процесса 12 ч. В указанных условиях статическая обменная ёмкость полученного материала составляет 4,6 мг-экв/г.

Полученные результаты подтверждают возможность использования химически модифицированного ПЭТ в качестве основы для получения полимерных ионообменных материалов и могут представлять интерес для дальнейших исследований в области сорбционной очистки водных систем.

Список литературы

1. Денисов А.Г. О роли и месте мембранных технологий на мировом и российском рынке водоподготовки и очистки сточных вод // Инновации и инвестиции. – 2016. – № 8. – С. 97–100.
2. Исмаилов А.И., Мирзаев У.М., Исмаилов Р.И. Ионообменные смолы на основе эпибромгидрина с N,N-диметиламиноэтилметакрилатом // Материалы Республ. научно-техн. конф. «Перспективы развития композиционных и нанокомпозиционных материалов», Ташкент. – 2016. – С. 285–287.
3. Исмаилов А.И., Мухамедгалиев Б.А., Исмаилов Р.И., Абдукодиров Ф.Б., Хасанов О.Х. Ионит из отходов для извлечения ионов драгоценных металлов // Патент на изобретение РУз. IAP 06580. – 2021.

4. Исмаилов Р.И., Аскаров М.А. Ионообменные смолы трехмерной структуры на основе поли- β-метакрилоилэтилди-метилизопропилилокси-аммоний хлорида // Композиционные материалы. – 2012. – № 1. – С. 6–10.
5. Исмаилов Р.И., Хайдаров И.Н. Ионообменные смолы на основе полимерных катионных поверхностно-активных веществ для очистки сточных вод // Technical science and innovation, Tashkent. – 2019. – № 1. – С. 141–146.
6. Котомкин Р.А., Гвоздков Е.Л. Химическая модификация атактического полипропилена // XVII Международная научно-практическая конференция имени профессора Л.П. Кулёва. – 2016. – С. 546–547.
7. Сутягин В.М., Ляпков А.А. Физико-химические методы исследования полимеров // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010.
8. Хасанов О.Х., Хайдаров И.Н., Исмаилов Р.И. Исследование оптимальных параметров получения нового анионита на основе хлорированного полипропилена // Universum: химия и биология. – 2022. – № 4 (90). – С. 64–69.
9. Хасанов О.Х., Абдуллаев Х.А., Исмаилов Р.И. Исследование кинетических свойств ионита на основе полипропилена // Междун. научно-практич. on-line конф. «Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук», Ташкент, 20–21 ноябрь. – 2020. – С. 423–426.
10. Хасанов О.Х., Джалилов Ш.С., Исмаилов Р.И. Иониты на основе полимерных катионных поверхностно-активных веществ для очистки сточных вод // Междун.научно-техн. on-line конф. “Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сфере охраны окружающей среды”, Ташкент, 18 сентябрь. – 2020. – С. 344–348.
11. Хасанов О.Х., Джалилов Ш.С., Исмаилов Р.И. Хасанов О.Х., Джалилов Ш.С., Исмаилов Р.И. Исследование морфологических свойств анионита на основе хлорированного полипропилена // Universum: химияи биология: электрон. научн. журн. – 2022. – № 6 (96). – С. 53–55.
12. Хасанов О.Х., Хайдаров И.Н. Исмаилов Р.И. Извлечение ионов двухвалентных металлов на основе ионитов из сточных вод // Сборник тезисов Международной научно-технической конференции “Инновационные технологии в обеспечении качества и безопасности химических и пищевых продуктов”. Ташкент. 24–25 сентября 2021. – 2021. – С. 206–207.
13. Хасанов О.Х., Хибибуллаев С.Ш., Исмаилов Р.И. Исследование хлорирование полипропилена синтезировать иониты для очистки сточных вод // Республиканская научно-техническая конференция «Роль науки и образования в модернизации предприятий нефтегазовой отрасли». – 2021. – С. 397–398.
14. Cui W., Kerres J., Eigenberger G. Sep Purif Technol. – 1998. – Vol. 14. – P. 145.
15. Ennan A., Dlubovskii R., Khoma R. Non-woven ion-exchange fibrous materials in air sanitary cleaning // Ukrainian Chemistry Journal. – 2021. – Т. 87, № 7. – P. 3–24. – DOI: 10.33609/2708-129X.87.07.2021.3–24.
16. Li L., Wang Y.X.J. // Membr Sci. – 2005. – Т. 262.

17. Min Zhanga, Jinling Liua, Yiguang Wang, Linan Anc. Michael D. Guiver,d,e and Nanwen Li Highly Stable Anion Exchange Membranes Based on Quaternized // Journal of Materials Chemistry A. – 2015. – P. 2–14.
18. Tonhwen X., Weihua Y. J Membr Sci. – 2001. – Vol. 190. – P. 159.
19. Varcoe J.R., Slade R.C., Yee E.H., Poynoton S.D., Driscoll D.J., Apperley D.C. Chem Mater 2007. – Vol. 19. – Art. 2686.
20. Yu E.H., Scott K. J Power Soureces 2004. – Vol. 137. – P. 248.

References

1. Denisov A.G. [On the role and place of membrane technologies in the global and Russian water treatment and wastewater treatment market] // Innovatsii i investitsii. – 2016. – No. 8. (In Russ.).
2. Ismailov R.I., Askarov M.A. [Ion-exchange resins of three-dimensional structure based on poly-β-methacryloylethyl dimethylisopropyloxyammonium chloride] // Kompozitsionnye materialy. – 2012. – No. 1. (In Russ.).
3. Ismailov A.I., Mirzaev U.M., Ismailov R.I. [Ion-exchange resins based on epibromohydrin and N,N-dimethylaminoethyl methacrylate] // Materialy Respubl. nauchno-tekhn. konf. «Perspektivy razvitiya kompozitsionnykh i nanokompozitsionnykh materialov», Tashkent. – 2016. (In Russ.).
4. Ismailov R.I., Khajdarov I.N. [Ion-exchange resins based on polymeric cationic surfactants for wastewater treatment] // Technical science and innovation, Tashkent. – 2019. – No. 1. (In Russ.).
5. Ismailov A.I., Mukhamedgaliev B.A., Ismailov R.I., Abdukodirov F.B., Khasanov O.Kh. [Ion exchanger from waste for recovery of precious metal ions] // Patent na izobretenie RUz. IAP 06580. – 2021. (In Russ.).
6. Kotomkin R.A., Gvozdkov E.L. [Chemical modification of atactic polypropylene] // XVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya imeni professora L.P. Kulyova. Sonference tpu. – 2016. (In Russ.).
7. [Khasanov, I.N. Khaidarov, R.I. Ismailov. Study of optimal parameters for producing a new anion exchanger based on chlorinated polypropylene] // Universum: khimiya i biologiya. – 2022. – No. 4 (90). (In Russ.).
8. Sutyagin V.M., Lyapkov A.A. [Physicochemical methods for the study of polymers] // Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2010. (In Russ.).
9. Khasanov O.Kh., Dzhalilov Sh.S., Ismailov R.I. [Khasanov O.Kh., Djalilov Sh.S., Ismailov R.I. Study of morphological properties of an anion exchanger based on chlorinated polypropylene] // Universum: khimiyai biologiya: elektron. nauchn. zhurn. – 2022. – No. 6 (96). (In Russ.).

10. Khasanov O.Kh., Dzhalilov Sh.S., Ismailov R.I. [Ion exchangers based on polymeric cationic surfactants for wastewater treatment] // Mezhdun.nauchno-tekhn. on-line konf. “Problemy i perspektivy innovatsionnoj tekhniki i tekhnologij v sfere okhrany okruzhayushchej sredy”, Tashkent, 344–348, 18 sentyabr'. – 2020. (In Russ.).
11. Khasanov O.Kh., Abdullaev Kh.A., Ismailov R.I. [Study of kinetic properties of an ion exchanger based on polypropylene] // Mezhdun. nauchno-praktich. on-line konf. «Aktual'nye problemy i innovatsionnye tekhnologii v oblasti estestvennykh nauk», Tashkent, c. 423–426, 20–21 noyabr'. – 2020. – P. 423–426. (In Russ.).
12. Khasanov O.Kh., Khajdarov I.N. [Ismailov R.I. Extraction of divalent metal ions from wastewater using ion exchangers] // Sbornik tezisov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii “Innovatsionnye tekhnologii v obespechenii kachestva i bezopasnosti khimicheskikh i pishchevykh produktov”. Tashkent. 24–25 sentyabrya. – 2021. (In Russ.).
13. Khasanov O.Kh., Khibibullaev S.Sh., Ismailov R.I. [Study of chlorination of polypropylene to synthesize ion exchangers for wastewater treatment] // Respublikanskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Rol' nauki i obrazovaniya v modernizatsii predpriyatij neftegazovoj otrasli». Tashkent. 3 noyabrya 2021. S. 397–398. – 2021. (In Russ.).
14. Cui W., Kerres J., Eigenberger G. Sep Purif Technol 1998, 14, 145.
15. Ennan A., Dlubovskii R. & Khoma R. Non-woven ion-exchange fibrous materials in air sanitary cleaning. Ukrainian Chemistry Journal. – 2021. – T. 87, № 7. – P. 3–24. – DOI: 10.33609/2708-129X.87.07.2021.3–24.
16. Li L., Wang Y.X.J. // Membr Sci. – 2005. – Vol. 262.
17. Min Zhanga, Jinling Liua, Yiguang Wang, Linan Anc. Michael D. Guiver,d,e and Nanwen Li Highly Stable Anion Exchange Membranes Based on Quaternized // Journal of Materials Chemistry A. – 2015. – P. 2–14.
18. Tonhwen X., Weihua Y. J Membr Sci 2001, 190, 159.
19. Varcoe J.R., Slade R.C., Yee E.H., Poynoton S.D., Driscoll D.J., Apperley D.C. Chem Mater 2007, 19, 2686.
20. Yu E.H., Scott K. J Power Soureces 2004, 137, 248.