

Статья поступила в редакцию: 27.06.2026

Статья принята к публикации: 19.07.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 547.26+547.593+678.7

DOI: 10.32743/UniTech.2026.149.8.23223

Получение и свойства олигомерных соединений, содержащих серу и азот на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина

Логинов Антон Викторович
PhD

доц. Новосибирский государственный технический университет
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург

Шодиева Маъмура Рауповна
магистр, Бухарский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Бухара

Шарипов Бегмурод Шаропович
PhD

доц., Бухарский государственный технический университет
Республика Узбекистан, г. Бухара
E-mail: sharipovbekki91@gmail.com

Preparation and properties of oligomeric compounds containing sulfur and nitrogen based on epichlorohydrin and 2,4,6-trimethyl-1,3,5-triazine

Loginov Anton Viktorovich
PhD, Associate Professor
Novosibirsk State Technical University
Russian Federation, St. Petersburg

Shodieva Mamura Raupovna
Master, Bukhara State Technical University
Republic of Uzbekistan, Bukhara

Sharipov Begmurod Sharopovich
PhD, Associate Professor
Bukhara State Technical University
Republic of Uzbekistan, Bukhara

Аннотация

Целью данной научно-исследовательской работы является разработка эффективных технологических методов синтеза и комплексное исследование физико-химических свойств новых серо- и азотсодержащих гетероцепных олигомерных соединений. В статье подробно

Библиографическое описание: Логинов А.В., Шодиева М.Р., Шарипов Б.Ш. Получение и свойства олигомерных соединений, содержащих серу и азот на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23223>

изучены закономерности процессов получения указанных олигомеров, содержащих в своей макромолекулярной структуре функциональные атомы серы и азота. Синтез целевых продуктов осуществлялся на основе направленного химического взаимодействия эпихлоргидрина с 2,4,6-триметил-1,3,5-триазином при варьировании различных параметров протекания реакции. В ходе выполнения работы были детально исследованы, систематизированы и оптимизированы ключевые технологические условия, включая температурные режимы, общую продолжительность кинетических процессов, а также мольное соотношение исходных реагирующих компонентов. С применением методов современного физико-химического анализа, включая ИК-спектроскопию, досконально определены молекулярное строение, элементный состав и базовые эксплуатационные характеристики полученных олигомеров. Экспериментальным путем надежно установлено, что последовательное введение функциональных гетероатомов серы и азота в основную цепь существенно модифицирует структуру макромолекул. Данный фактор способствует значительному повышению показателей термической устойчивости, высокой химической стойкости к воздействию агрессивных сред, а также существенному улучшению адгезионных свойств синтезированных соединений. На основании комплекса полученных результатов научно обоснованы перспективные направления практического применения разработанных олигомерных материалов. Выявлено, что данные олигомеры могут успешно использоваться в качестве высокоэффективных модификаторов при производстве высокотемпературных термостойких полимеров, долговечных защитных антикоррозионных покрытий, а также связующих компонентов для создания современных multifunctional композиционных материалов различного назначения.

Abstract

The primary objective of this research work is to develop effective technological methods for the synthesis and to conduct a comprehensive investigation of the physicochemical properties of novel sulfur- and nitrogen-containing heterochain oligomeric compounds. The article details the regularities of the processes for obtaining these oligomers, which incorporate functional sulfur and nitrogen atoms into their macromolecular structure. The synthesis of the target products was carried out based on the directed chemical interaction of epichlorohydrin with 2,4,6-trimethyl-1,3,5-triazine under varying reaction parameters. In the course of the work, key technological conditions were thoroughly investigated, systematized, and optimized, including temperature regimes, the total duration of kinetic processes, and the molar ratio of the initial reacting components. Utilizing modern physicochemical analysis methods, including IR spectroscopy, the molecular structure, elemental composition, and basic performance characteristics of the obtained oligomers were thoroughly determined. It was reliably established experimentally that the sequential introduction of functional sulfur and nitrogen heteroatoms into the main chain significantly modifies the macromolecular structure. This factor contributes to a significant increase in thermal stability, high chemical resistance to aggressive environments, and a substantial improvement in the adhesion properties of the synthesized compounds. Based on the complex of obtained results, promising directions for the practical application of the developed oligomeric materials are scientifically substantiated. It was revealed that these oligomers can be successfully used as highly effective

modifiers in the production of high-temperature heat-resistant polymers, durable protective anti-corrosion coatings, and as binding components for creating modern multifunctional composite materials for various purposes.

Ключевые слова: эпихлоргидрин, триазин, олигомерные соединения, азотсодержащие соединения, серосодержащие соединения, поликонденсация, термостойкость, химия полимеров, гетероциклические соединения, синтетические материалы.

Keywords: epichlorohydrin, triazine, oligomeric compounds, nitrogen-containing compounds, sulfur-containing compounds, polycondensation, heat resistance, polymer chemistry, heterocyclic compounds, synthetic materials.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется синтезу олигомерных соединений, содержащих гетероатомы серы и азота. Такие вещества обладают высокой химической стойкостью, термостойкостью, хорошими адгезионными свойствами и могут применяться в производстве полимерных материалов, защитных покрытий, клеев и ионообменных смол. Особый интерес представляют соединения на основе эпихлоргидрина и производных триазина. Эпихлоргидрин является важным мономером для получения эпоксидных и олигомерных материалов. 2,4,6-триметил-1,3,5-триазин содержит азотсодержащий триазиновый цикл, который повышает устойчивость и реакционную способность получаемых соединений.

2. Целью данной работы является изучение получения и свойств серо- и азотсодержащих олигомерных соединений на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина. Олигомеры представляют собой соединения, состоящие из небольшого числа повторяющихся звеньев. Введение атомов серы и азота в структуру олигомеров способствует улучшению их физико-химических характеристик. Эпихлоргидрин содержит эпоксидную группу, благодаря которой легко вступает в реакции поликонденсации и нуклеофильного присоединения. Триазиновое кольцо, содержащее три атома азота, обеспечивает высокую термическую устойчивость. При взаимодействии эпихлоргидрина с серосодержащими реагентами и производными триазина происходит образование пространственно-сшитых олигомерных структур.

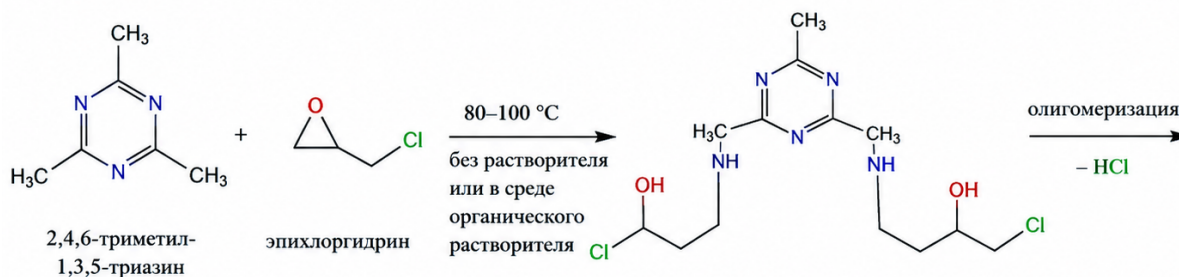
Материалы и методы

3. Методы исследования: В ИК-спектрах синтезированных соединений можно наблюдать: полосы поглощения О–Н групп в области $3200\text{--}3500\text{ см}^{-1}$, колебания связей С–N триазинового цикла в области $1450\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, полосы С–S связей в области $650\text{--}750\text{ см}^{-1}$. Это подтверждает образование азот- и серосодержащего олигомера. Для изучения структуры и свойств олигомеров применяются следующие методы: ИК-спектроскопия; элементный анализ; термогравиметрический анализ; определение молекулярной массы; исследование растворимости. ИК-спектры позволяют определить наличие: эпоксидных групп; связей С–N; связей С–S; гидроксильных групп. Серо- и азотсодержащие олигомеры на основе эпихлоргидрина и триазина могут использоваться: при производстве термостойких

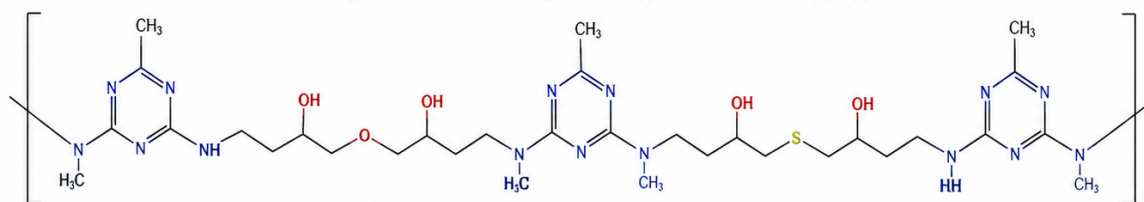
полимеров; в качестве защитных покрытий; для получения клеевых композиций; в электроизоляционных материалах; в химически стойких пластиках. Полученные результаты показывают, что синтезированные олигомерные соединения на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина обладают комплексом ценных физико-химических свойств, позволяющих рассматривать их как перспективные материалы для создания функциональных полимерных систем.

4. Получение олигомерных соединений: Синтез проводился путем взаимодействия эпихлоргидрина с 2,4,6-триметил-1,3,5-триазином в присутствии серосодержащего компонента. Синтез олигомерных соединений, содержащих атомы серы и азота, представляет большой интерес в области современной химии полимеров. Это связано с тем, что введение гетероатомов в структуру полимерной цепи способствует улучшению физико-химических и эксплуатационных свойств материалов. В данной работе в качестве основного исходного вещества был использован эпихлоргидрин, обладающий высокой реакционной способностью благодаря наличию эпоксидной группы. В процессе синтеза эпихлоргидрин взаимодействовал с 2,4,6-триметил-1,3,5-триазином в присутствии серосодержащего реагента. Реакция проводилась в органической среде при температуре 70–90 °С с использованием катализатора. Во время процесса происходило раскрытие эпоксидного кольца эпихлоргидрина, в результате чего образовывались новые связи между атомами углерода, азота и серы.

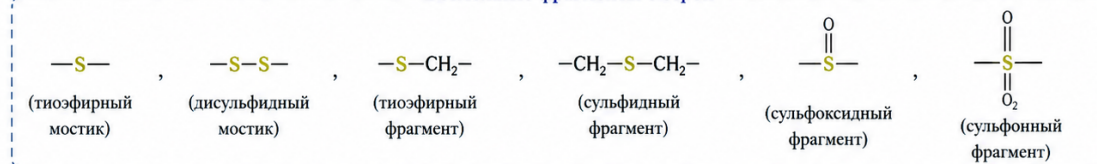
Получение олигомерных соединений, содержащих серу и азот, на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина



Олигомерное соединение, содержащее серу и азот (общая структура)



Возможные фрагменты с серой



N – азот

O – кислород

S – сера

Cl – хлор

Рисунок 1. Связи между атомами углерода, азота и серы

Полученные олигомерные соединения представляли собой вязкие вещества светло-жёлтого цвета, хорошо растворимые в некоторых органических растворителях. Исследования показали, что наличие триазинового цикла в структуре олигомера способствует повышению термической устойчивости материала. Кроме того, атомы серы улучшают химическую стойкость и эластичность полученных соединений. Для изучения структуры и свойств синтезированных олигомеров были использованы современные физико-химические методы анализа. С помощью ИК-спектроскопии были обнаружены полосы поглощения, соответствующие связям C–N, C–S и гидроксильным группам. Это подтверждает образование серо- и азотсодержащих олигомерных структур. Термогравиметрический анализ показал, что полученные соединения обладают высокой термической стабильностью и сохраняют свои свойства при повышенных температурах. Данное свойство позволяет рассматривать синтезированные олигомеры как перспективные материалы для производства защитных покрытий, клеевых композиций, электроизоляционных материалов и химически стойких полимеров. Таким образом, результаты исследования показывают, что взаимодействие эпихлоргидрина с триазиновыми соединениями в присутствии серосодержащих компонентов является эффективным методом получения новых функциональных олигомеров с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Результаты и обсуждение

В ходе проведённых исследований были изучены физико-химические свойства синтезированных серо- и азотсодержащих олигомерных соединений на основе эпихлоргидрин и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазин. Полученные результаты показали, что структура исходных компонентов существенно влияет на свойства конечного продукта. Анализ ИК-спектров подтвердил образование новых химических связей в структуре олигомера. В спектрах наблюдались полосы поглощения, характерные для связей C–N и C–S, что свидетельствует о включении атомов азота и серы в олигомерную цепь. Кроме того, уменьшение интенсивности полос эпоксидной группы указывает на протекание реакции раскрытия эпоксидного цикла эпихлоргидрина C–N, C–S, OH.

Исследование термических свойств показало, что синтезированные соединения обладают повышенной термостойкостью по сравнению с обычными эпоксидными олигомерами. Это объясняется присутствием триазинового цикла, который повышает жёсткость и устойчивость структуры к воздействию высоких температур. Также было установлено, что наличие атомов серы способствует улучшению химической стойкости и эластичности материала. Полученные олигомеры проявили хорошую растворимость в органических растворителях и высокую адгезию к металлическим поверхностям. Результаты исследования позволяют сделать вывод о перспективности использования синтезированных олигомерных соединений в качестве основы для термостойких покрытий, клеевых композиций, электроизоляционных материалов и специальных полимерных систем. Начало формы Реакцию проводили при нагревании в органическом растворителе при температуре 60–90 °C в присутствии катализатора. В результате образовывался вязкий олигомер светло-жёлтого цвета.

Схема получения олигомерных соединений, содержащих серу и азот, на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина

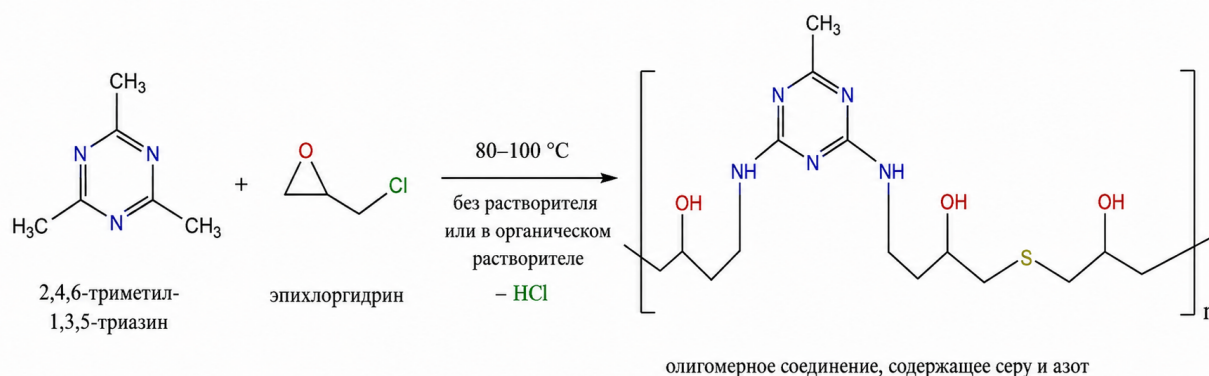


Рисунок 2. Схема получения

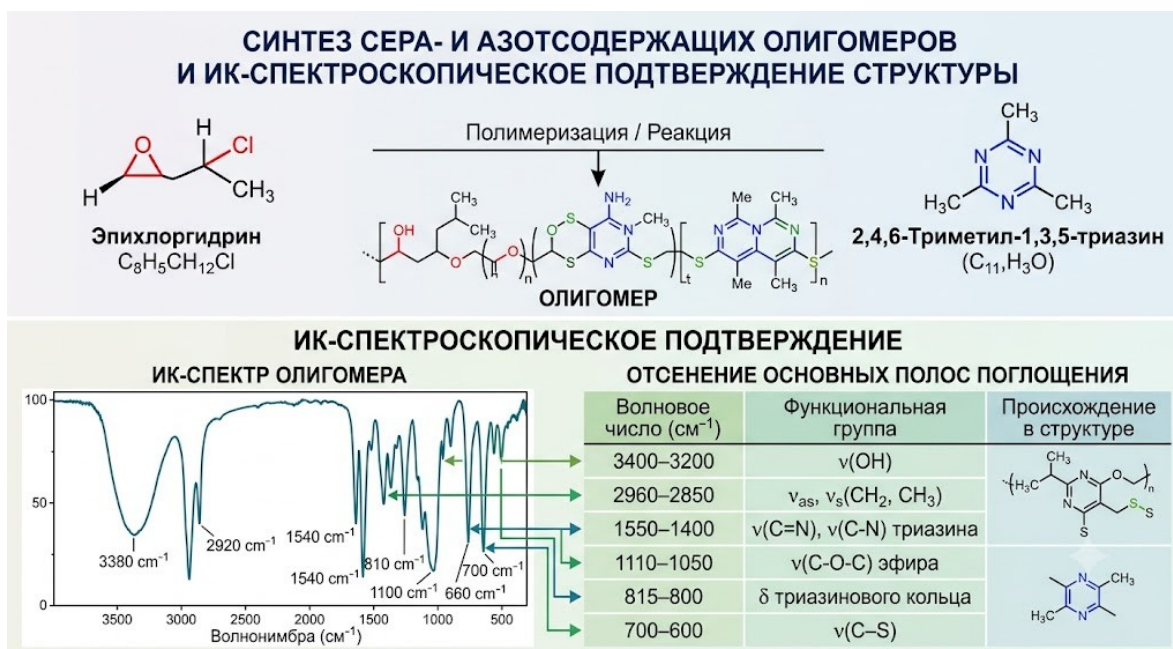


Рисунок 3. Схема получения

5. Свойства полученных олигомеров: Полученные олигомерные соединения на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина обладают рядом ценных физико-химических свойств, обусловленных наличием в структуре атомов азота и серы. Синтезированные олигомеры хорошо растворяются в полярных органических растворителях, таких как: диметилформамид (ДМФА), диметилсульфоксид (ДМСО), ацетон, спирты. Ограниченная растворимость в воде объясняется присутствием гидрофобных углеводородных фрагментов и сшитой структуры олигомера. Наличие триазинового цикла в структуре олигомера способствует повышению термической стабильности соединений. Полученные продукты сохраняют устойчивость при повышенных температурах и характеризуются замедленным процессом термического разложения. Азот и серо содержащие фрагменты повышают устойчивость материала к термоокислительной деструкции. Олигомеры проявляют

устойчивость: к действию разбавленных кислот, слабых щелочей, органических растворителей. Это связано с присутствием гетероциклического триазинового ядра и прочных связей C–N и C–S.

6. Наличие функциональных групп: гидроксильных (–OH), аминных (–NH), серосодержащих фрагментов создаёт возможность дальнейшей модификации олигомеров и получения на их основе: полимерных покрытий, ионообменных материалов, термостойких композиций, клеевых и защитных материалов. Благодаря высокой термической устойчивости и наличию активных функциональных групп полученные олигомеры могут применяться: в качестве связующих материалов, при создании антикоррозионных покрытий, для синтеза модифицированных полимеров, в производстве термостойких композиционных материалов. Полученные соединения обладают следующими свойствами: хорошая растворимость в органических растворителях; повышенная термостойкость; устойчивость к действию кислот и щелочей; наличие реакционноспособных функциональных групп; хорошие адгезионные свойства. Термостойкость объясняется присутствием триазинового цикла, а атомы серы способствуют повышению эластичности и химической устойчивости материала.

7. Заключение: В результате проведённых исследований были синтезированы олигомерные соединения, содержащие атомы серы и азота, на основе эпихлоргидрин и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазин. Установлено, что взаимодействие исходных компонентов приводит к образованию функциональных олигомерных структур, содержащих гидроксильные, аминные и серосодержащие фрагменты. Полученные соединения обладают повышенной термической устойчивостью, химической стойкостью и способностью к дальнейшей химической модификации. Наличие триазинового цикла и атомов серы способствует улучшению эксплуатационных характеристик синтезированных материалов. Показано, что синтезированные олигомеры могут представлять практический интерес в качестве основы для получения термостойких полимерных материалов, защитных покрытий, композиционных систем и функциональных полимеров специального назначения. Таким образом, синтезированы олигомерные соединения на основе эпихлоргидрина и 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина, содержащие атомы серы и азота. Полученные вещества обладают высокой термической и химической устойчивостью, что делает их перспективными для применения в различных областях химической промышленности и материаловедения.

В данной работе рассмотрены методы получения олигомерных соединений, содержащих серу и азот, на основе эпихлоргидрин и производных 1,3,5-триазин. Проведённый анализ литературных источников показал, что введение атомов серы и азота в структуру олигомеров способствует улучшению их физико-химических и эксплуатационных свойств. Такие соединения обладают повышенной термической устойчивостью, хорошей химической стойкостью и способностью к образованию прочных пространственных структур. На основании литературных данных установлено, что использование эпихлоргидрина в реакциях поликонденсации позволяет получать олигомеры с высокой реакционной способностью и хорошей адгезией к различным материалам. Производные триазина, содержащие атомы азота, обеспечивают дополнительную

стабильность структуры и повышают огнестойкость полученных материалов. Наличие серосодержащих фрагментов также положительно влияет на механическую прочность и устойчивость к воздействию агрессивных сред.

Анализ научных публикаций показывает, что серо и азот содержащие олигомеры имеют широкие перспективы практического применения. Они могут использоваться при создании защитных покрытий, клеевых композиций, термостойких полимерных материалов, модифицированных смол и композиционных систем специального назначения. Кроме того, благодаря сочетанию функциональных групп данные соединения представляют интерес для дальнейших исследований в области высокомолекулярной химии и материаловедения. Таким образом, результаты обзора литературы подтверждают актуальность исследований, связанных с синтезом новых олигомерных соединений, содержащих серу и азот. Разработка подобных материалов открывает возможности получения полимеров с улучшенными свойствами и расширяет области их промышленного применения.

Заключение

Анализ литературных источников показал, что олигомерные соединения, содержащие серу и азот, относятся к перспективным функциональным материалам современной полимерной химии. Установлено, что применение эписхлоргидрина и производных триазина позволяет получать олигомеры с высокой химической активностью и устойчивостью к термическому воздействию. Введение атомов серы в структуру олигомеров способствует повышению механической прочности, химической стойкости и устойчивости к агрессивным средам. Азотсодержащие триазиновые фрагменты улучшают термостойкость, огнестойкость и стабильность пространственной структуры полимеров. По данным литературы, синтезированные соединения могут применяться в производстве защитных покрытий, клеевых материалов, композиционных полимеров и специальных технических смол. Проведённый литературный обзор подтверждает перспективность дальнейших исследований в области получения новых серо- и азотсодержащих олигомеров с заданными физико-химическими свойствами.

Список литературы

1. Анохин, А.В. 1,3,5-Триазин и его производные в химии высокомолекулярных соединений / А.В. Анохин, М.А. Горбунова, Д.В. Анохин // Химическая промышленность сегодня. – 2022. – № 5. – С. 41–46.
2. Антонов В., Котов А.В., Павлов А.А., Смирнов А.С. Современные методы модификации эпоксидных олигомеров // Химическая технология. – 2022. – № 11. – С. 33–39.
3. Болдырев, В.С. Методы получения термостойких олигомерных соединений / В.С. Болдырев, В.В. Меньшиков // Современные наукоёмкие технологии. – 2021. – № 9. – С. 18–22.
4. Данилов С.Н. Основы химии и технологии полимеров. – Санкт. – Петербург: Химиздат, 2019. – 420 с.

5. Дебердеев, Т.Р. Термостойкие полимерные материалы специального назначения / Т.Р. Дебердеев, А.И. Ахметшина, Л.К. Каримова [и др.] // Успехи современной химии. – 2020. – Т. 89, № 6. – С. 701–709.
6. Коршак, В.В. Химия высокомолекулярных соединений / В.В. Коршак. – Москва: Химия, 2017. – 560 с.
7. Крылов, В.А. Эпихлоргидрин в синтезе полимеров и олигомеров / В.А. Крылов, А.В. Крылов, А.А. Соловьянов // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, № 4. – С. 520–528.
8. Кучин, А.В. Серо- и азотсодержащие полимеры: свойства и области применения / А.В. Кучин, Ю.И. Рябков, Л.Ю. Назарова, И.Б. Смирнов // Композиционные материалы. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 55–63.
9. Логинов, А.В. 2,4,6-триметил-1,3,5-триазин и его производные в синтезе функциональных материалов / А.В. Логинов, М.Р. Шодиева, Б.Ш. Шарипов // Химическая технология. – 2021. – № 5. – С. 44–49.
10. Пахомов, П.М. Исследование физико-химических свойств серосодержащих олигомеров / П.М. Пахомов, А.Н. Адамян, С.Д. Хижняк // Высокомолекулярные соединения. – 2021. – Т. 63, № 2. – С. 145–152.
11. Рахматуллина, А.П. Эпихлоргидрин в синтезе полимерных материалов / А.П. Рахматуллина, Н.С. Сатбаева, Е.Н. Черезова, А.С. Изергина // Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93, № 4. – С. 512–518.
12. Суслов, В.И. Синтез азотсодержащих полимеров на основе производных триазина / В.И. Суслов, В.Н. Заплишный, Г.М. Погосян // Пластические массы. – 2019. – № 7. – С. 23–27.
13. Тагер, А.А. Физико-химия полимеров / А.А. Тагер. – Москва: Научный мир, 2018. – 576 с.

References

1. Anokhin A.V., Gorbunova M.A., Anokhin D.V. [1,3,5-Triazine and its derivatives in the chemistry of high-molecular compounds]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2022, no. 5, P. 41–46. (In Russ.)
2. Antonov V., Kotov A.V., Pavlov A.A., Smirnov A.S. [Modern methods for modifying epoxy oligomers]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2022, no. 11, P. 33–39. (In Russ.)
3. Boldyrev V.S., Menshikov V.V. [Methods for obtaining heat-resistant oligomeric compounds]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2021, no. 9, P. 18–22. (In Russ.)
4. Danilov S.N. [Fundamentals of polymer chemistry and technology]. Saint Petersburg, Khimizdat Publ., 2019. 420 P. (In Russ.)
5. Deberdeev T.R., Akhmetshina A.I., Karimova L.K., et al. [Heat-resistant polymer materials for special purposes]. *Uspekhi sovremennoi khimii*, 2020, vol. 89, no. 6, P. 701–709. (In Russ.)
6. Korshak V.V. [Chemistry of high-molecular compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 2017. 560 P. (In Russ.)

7. Krylov V.A., Krylov A.V., Solovyanov A.A. [Epichlorohydrin in the synthesis of polymers and oligomers]. Zhurnal prikladnoi khimii, 2018, vol. 91, no. 4, P. 520–528. (In Russ.)
8. Kuchin A.V., Ryabkov Yu.I., Nazarova L.Yu., Smirnov I.B. [Sulfur- and nitrogen-containing polymers: properties and applications]. Kompozitsionnye materialy, 2023, vol. 15, no. 1, P. 55–63. (In Russ.)
9. Loginov A.V., Shodieva M.R., Sharipov B.Sh. [2,4,6-Trimethyl-1,3,5-triazine and its derivatives in the synthesis of functional materials]. Khimicheskaya tekhnologiya, 2021, no. 5, P. 44–49. (In Russ.)
10. Pakhomov P.M., Adamyan A.N., Khizhnyak S.D. [Study of the physicochemical properties of sulfur-containing oligomers]. Vysokomolekulyarnye soedineniya, 2021, vol. 63, no. 2, P. 145–152. (In Russ.)
11. Rakhmatullina A.P., Satbaeva N.S., Cherezova E.N., Izergina A.S. [Epichlorohydrin in the synthesis of polymer materials]. Zhurnal prikladnoi khimii, 2020, vol. 93, no. 4, P. 512–518. (In Russ.)
12. Suslov V.I., Zaplishnyi V.N., Pogosyan G.M. [Synthesis of nitrogen-containing polymers based on triazine derivatives]. Plasticheskie massy, 2019, no. 7, P. 23–27. (In Russ.)
13. Tager A.A. [Physicochemistry of polymers]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2018. 576 P. (In Russ.)