

ХИМИЯ

Научная статья
УДК 541.64

Поликарбонаты триптицендиола-2,5

Константин Борисович Темираев¹, Марина Валерьевна Худоян², Ирина Владимировна Мишенина³, Геннадий Борисович Шустов⁴, Сафият Масхутовна Балаева⁵, Элина Валерьевна Хакяшева⁶

^{1,2,3}Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), Республика Северная Осетия-Алания, Владикавказ, Россия

^{4,5,6}Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик, Россия

¹temiraevkonstantin@yandex.ru

²khoudoyanmarina@mail.ru

³mishenina_inna@mail.ru

⁴alla_7583@mail.ru

⁵safiyat.balaeva@mail.ru

⁶ek_kbsu@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены синтез и свойства поликарбоната и сополикарбонатов триптицендиола-2,5. Исследованы механические свойства смесей промышленного поликарбоната и поликарбоната триптицендиола-2,5. Установлено, что поликарбонат и сополикарбонаты триптицендиола-2,5 характеризуются более высокими температурами стеклования и улучшенной химстойкостью по сравнению с поликарбонатом 2,2-ди-(4-оксифенил)-пропана. Показано также, что наличие звеньев триптицена способствует улучшению механических свойств смесей по сравнению с промышленным поликарбонатом.

Ключевые слова: синтез, свойства, поликарбонат, сополикарбонаты, триптицендиол-2,5, 2,2-ди-(4-оксифенил)-пропан

Для цитирования: Темираев К.Б., Худоян М.В., Мишенина И.В., Шустов Г.Б., Балаева С.М., Хакяшева Э.В. Поликарбонаты триптицендиола-2,5 // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2026. Т. 16, № 2. С. 95–99.

CHEMISTRY

Original article

Triptycenediol-2,5 polycarbonates

Konstantin B. Temiraev¹, Marina V. Khudoyan², Irina V. Mishenina³, Gennady B. Shustov⁴, Safiyat M. Balaeva⁵, Elina V. Khakyasheva⁶

^{1,2,3}North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

^{4,5,6}Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia

¹temiraevkonstantin@yandex.ru

²khoudoyanmarina@mail.ru

³mishenina_inna@mail.ru

⁴alla_7583@mail.ru

⁵safiyat.balaeva@mail.ru

⁶ek_kbsu@mail.ru

Abstract. The synthesis and properties of polycarbonate and copolycarbonates of triptycenediol-2,5 are considered. The mechanical properties of mixtures of industrial polycarbonate and polycarbonate of tripty-

enediol-2,5 are investigated. It is established that polycarbonate and copolycarbonates of trypticenediol-2,5 have higher glass transition temperatures and improved chemical resistance compared to polycarbonate of 2,2-di-(4-oxyphenyl)-propane. It has also been shown that the presence of trypticene units improves the mechanical properties of the mixtures compared to industrial polycarbonate

Keywords: synthesis, properties, polycarbonate, copolycarbonates, trypticenediol-2,5, 2,2-di-(4-oxyphenyl)-propane

For citation: Temiraev K.B., Khudoyan M.V., Mishenina I.V., Shustov G.B., Balaeva S.M., Khakya-sheva E.V. Triptycenediol-2,5 polycarbonates. *Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University*. 2026;16(2):95–99. (In Russ.).

Поликарбонат бисфенола А является полимером, чьи механические свойства (высокая устойчи- вость к ударным нагрузкам) не имеют аналогов среди известных термопластов.

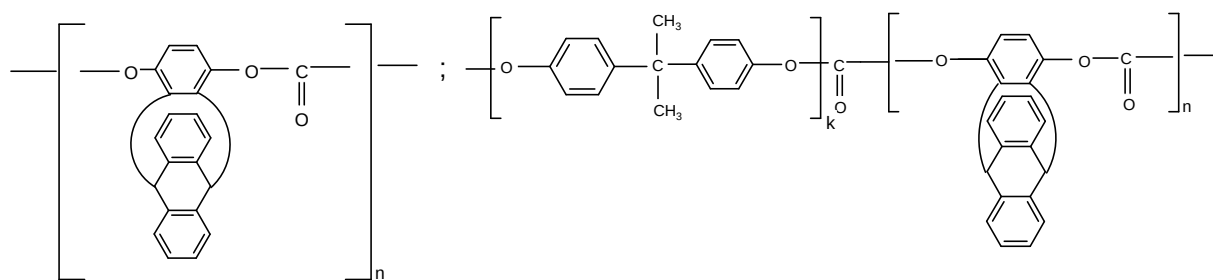
Благодаря уникальным свойствам поликарбоната, интерес к синтезу и исследованию свойств новых поликарбонатов и сополикарбонатов на основе различных бисфенолов не ослабевает [1–4].

В последнее время значительное внимание привлекает бисфенол – 9,10-дигидро-9,10-о-бензе- ноантрацен-1,4-диол (триптицендиол-2,5), который легко получают из антрацена в две стадии [5].

Благодаря уникальному строению молекулы триптицена можно ожидать, что включение его звеньев в основную цепь ПК приведет к появлению у них новых специфических и важных свойств [6–9]. Ранее [9] нами было показано, что наличие остатков триптицендиола-2,5 в макроцепях ароматических простых полиэфиров оказывает положительное влияние на комплекс их свойств [7–9].

Исходя из этого синтезированы ПК триптицендиола-2,5 и его сополикарбонаты с бисфенолом А (БфА) [10, 11]. ПК синтезировали фосгенированием смеси, содержащей триптицендиол-2,5, метилхлорид, водный гидроксид натрия, триэтиламин и *n*-трет-бутилфенол как агент обрыва цепи [10]. Кроме того, сопо- ликарбонаты триптицендиола-2,5 и БфА получены также акцепторно-каталитической поликонденсацией действием бисхлорформата БфА на смесь триптицендиола-2,5 и БфА в метилхлориде [11].

Строение поликарбоната триптицендиола-2,5 (соединение **1**), сополикарбонатов соединения **1** и БфА отражают структуры, представленные ниже.



Состав и результаты синтеза, а также некоторые характеристики полученных полимеров пред- ставлены в *таблицах 1 и 2*.

Таблица 1 – Молекулярная масса и температура стеклования полимеров [11]

Полимер	Состав полимера	Реальное соотношение	M_w , г/моль	M_n , г/моль	M_w/M_n	$T_{ст.}$, °C
БфА	100	100	–	–	–	150
БфА:1	90:10	98,5:1,5	32,860	16,100	2,04	146
БфА:1	55:45	79:21	29,610	13,410	2,21	145
БфА:1	50:50	78,4:21,6	40,710	10,790	3,77	155
1	100	100	43,500	16,110	2,70	227

Таблица 2 – Результаты испытаний на одноосное растяжение пленок поликарбонатов при комнатной температуре [11]

Материал	Толщина, мкм	Модуль Юнга, ГПа	Прочность, МПа	Удлинение при разрыве, %
БфА-ПК	12,2 (± 2)	4,43 ($\pm 0,76$)	77 (± 8)	16 (± 8)
БфА:1(90:10)	13,2 (± 8)	3,96 ($\pm 1,19$)	57 (± 17)	5 (± 2)

Синтезированные сополикарбонаты хорошо растворимы в хлорированных алифатических углеводородах и методом полива из раствора образуют прозрачные гибкие прочные пленки (таблица 2).

При включении звеньев триптицена Т_{ст.} сополикарбонатов повышается относительно ПК БфА. Это обусловлено снижением сигментальной подвижности макромолекул вследствие роста жесткости макроцепей и возникновения стерических препятствий.

Присутствие звеньев соединения **1** в сополикарбонатах приводит к некоторому понижению деформационно-прочностных свойств по сравнению с ПК БфА (таблица 2): модуля Юнга в среднем на 12 %, прочности при разрыве в среднем на 35 % и удлинения при разрыве [10].

Наличие остатков соединения **1** в макроцепях сополикарбонатов способствует повышению их устойчивости в 40 %-ном водном растворе гидроксида калия. Так, например, образец промышленного поликарбоната «Дифлон» претерпевает практически полное разрушение после трех суток экспозиции в 40 %-ном водном растворе КОН, теряя 72 % от исходной массы.

Сополикарбонат, содержащий 50 мол. % соединения **1**, за то же время в 40 %-ном КОН теряет 2 % массы [11].

Наиболее важной областью применения ПК БфА является прозрачная защита. В области прозрачной защиты ПК подвергается ударным нагрузкам при различных скоростях. Этим объясняется тот факт, что исследователи уделяют основное внимание изучению механических свойств известных и новых ПК.

В широком диапазоне скоростей были испытаны на растяжение и сжатие смеси промышленного ПК БфА марки Iupilon с ПК соединения **1** [12]. Содержание звеньев триптицена в испытуемых смесях регулировали молекулярной массой ПК соединения **1**. Низкомолекулярный ПК соединения **1** давал низкое содержание звеньев триптицена, а высокомолекулярный ПК соединения **1** приводил к более высокому содержанию звеньев триптицена в смесях.

Содержание в испытуемой смеси 1,9 масс. % триптицена позволило увеличить модуль упругости на 20 %, предела текучести на 17 % при относительном удлинении более 80 % по сравнению с Iupilon. Повышение содержания звеньев триптицена до 26 масс. % приводит к увеличению модуля упругости более чем на 20 % и росту прочности при сжатии на 50 % – как при низких, так и при высоких скоростях деформации, без снижения пластичности по сравнению с Iupilon [12]. Все образцы смесей ПК, содержащие звенья триптицена, сохраняли прозрачность и не проявляли признаков кристалличности и разделения фаз [12]. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод, что ПК БфА и соединения **1** при смешивании хорошо совместимы в широком диапазоне составов.

Анализ приведенных выше результатов позволяет заключить, что включение в основную цепь поликарбоната и сополикарбонатов, а также в состав физических смесей промышленного ПК звеньев триптицена позволяет существенно улучшить весь комплекс свойств получаемых материалов, представляющих интерес для современной техники.

Библиография

1. Sweileh B., Al-Hiari Yu., Kailani M.H., Mohammed H.A.Y. Synthesis and characterization of polycarbonates by melt phase interchange reactions of alkylene and arylene diacetates with alkylene and arylene diphenyl dicarbonates // Molecules. 2010. V. 15. P. 3661.
2. Анашкин Д.О. Синтез и исследование свойств новых поликарбонат-силоксанов: дисс... канд. хим. наук. М., 2006. 109 с.

3. Ning W., Zhu W., Zhang B., Li C., Liu C., Wang D. Effect of chemical structure of polycarbonates on entanglement specing // *Chinese journal of polymer science*. 2012. V. 30. P. 343.
4. Запорников В.А., Осипчик В.С., Редькина А.А. Влияние модифицирующих добавок на технологичность и физико-механические свойства поликарбоната // *Известия высш. учеб. заведений. Серия Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57, № 4. С. 65.
5. Bartlett P.D., Ryan M.J., Cohen S.G. Triptycene (9,10-o-benzanthracene) // *J. Amer. Soc.* 1942. V. 64. P. 2649–2653.
6. Козлов Г.В., Кехарсаева Э.Р., Шогенов В.Н., Берикетов А.С., Хараев А.М., Микитаев А.К. Корреляция между деформацией полимерных пленок и молекулярными параметрами полимеров // *Высокомолек. соед. Б*. 1986. Т. 28, № 1. С. 3.
7. Carta M., Croad M., Malpass-Evans R., Jansen J.C., Bernardo P., Claricia G., Friss K., Lanc M., McKeown N.B. Triptycene induced enhancement of Membrane gas selectivity for microporous Trogers base polymers // *Advances Materials*. 2014. V. 26, N 21. P. 3526.
8. Bezzu G.C., Fuoko A., Esposito E., Monteleone M., Longo M., Jansen J.C., Nichol G.S., McKeown N.B. Ultraparmerable polymers of intrinsic microporosity (PIMs) containing spirocyclic units with fused triptycenes // *Advanced Funct. Materials*. 2021. V. 31, N 37. P. 2104474.
9. Темираев К.Б., Худоян М.В., Мишенина И.В., Шустов Г.Б., Балаева С.М., Шетов Р.А. Ароматические простые полиэфиры триптицендиола-2,5 // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. 2023. Т. 13, № 2. С. 80.
10. Boyles D.A., Filipova T.S., Bendler J.T. Aromatic copolycarbonates of bis-phenol A and triptycene-1,4-hydroquinone // *Polymer Preprints*. 2007. V. 48, N 1. P. 352.
11. Смирнова О.В., Микитаев А.К., Цалоева Н.Г. Сополикарбонаты на основе триптицендиола-2,5 и бисфенола А // В кн.: *Поликонденсационные процессы и полимеры*. Нальчик, 1986. С. 182.
12. Tsui N.T., Yong Y., Mulliken A.D., Lokman T., Boyce M.C., Swager T.M., Thomas E.L. Enhancement to rate-dependent mechanical behavior of polycarbonate by incorporation of triptycenes // *Polymer*. 2008. V. 49. P. 4703.

References

1. Sweileh B., Al-Hiari Yu., Kailani M.H., Mohammed H.A.Y. Synthesis and characterization of polycarbonates by melt phase interchange reactions of alkylene and arylene diacetates with alkylene and arylene diphenyl dicarbonates. *Molecules*. 2010;15:3661.
2. Anashkin D.O. Synthesis and Properties Study of New Polycarbonate-Siloxanes: PhD Thesis in Chemistry. Moscow, 2006. 109 p. (In Russ.).
3. Ning W., Zhu W., Zhang B., Li C., Liu C., Wang D. Effect of chemical structure of polycarbonates on entanglement specing. *Chinese journal of polymer science*. 2012;30:343.
4. Zapornikov V.A., Osipchik V.S., Redkina A.A. Influence of Modifying Additives on the Processability and Physical and Mechanical Properties of Polycarbonate. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya = News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology*. 2014;57(4):65. (In Russ.).
5. Bartlett P.D., Ryan M.J., Cohen S.G. Triptycene (9,10-o-benzanthracene). *J. Amer. Soc.* 1942;64:2649–2653.
6. Kozlov G.V., Keharsaeva E.R., Shogenov V.N., Beriketov A.S., Kharaev A.M., Mikitaev A.K. Correlation between deformation of polymer films and molecular parameters of polymers. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya B = High-molecular compounds. Series B*. 1986;28(1):3. (In Russ.).
7. Carta M., Croad M., Malpass-Evans R., Jansen J.C., Bernardo P., Claricia G., Friss K., Lanc M., McKeown N.B. Triptycene induced enhancement of Membrane gas selectivity for microporous Trogers base polymers. *Advances Materials*. 2014;26(21):3526.

8. Bezzu G.C., Fuoko A., Esposito E., Monteleone M., Longo M., Jansen J.C., Nichol G.S., McKeown N.B. Ultraparable polymers of intrinsic microporosity (PIMs) containing spirocyclic units with fused triptycenes. *Advanced Funct. Materials*. 2021;31(37):2104474.
9. Temiraev K.B., Khudoyan M.V., Mishenina I.V., Shustov G.B., Balaeva S.M., Shetov R.A. Aromatic polyethers of triptycenediol-2,5. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta = Proseeding of the Kabardino-Balkarian State University*. 2023;13(2):80. (In Russ.).
10. Boyles D.A., Filipova T.S., Bendler J.T. Aromatic copolycarbonates of bis-phenol A and triptycene-1,4-hydroquinone. *Polymer Preprints*. 2007;48(1):352.
11. Smirnova O.V., Mikitaev A.K., Tsaloeva N.G. Copolycarbonates based on triptycenediol-2,5 and bisphenol A. In book: *Polikondensatsionnyye protsessy i polimery = Polycondensation processes and polymers*. Nalchik, 1986. P. 182.
12. Tsui N.T., Yang Y., Mulliken A.D., Torun L., Boyce M.C., Swager T.M., Thomas E.L. Enhancement to rate-dependent mechanical behavior of polycarbonate by incorporation of triptycenes. *Polymer*. 2008; 49:4703.