

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 541.64:547.564.4
EDN: BUTVBX
DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-3-333-339



Синтез *p*-аминопиридинметакрилата, его гомополимеризация и свойства

В.Э. Вахабова, К.Г. Гулиев✉

Институт полимерных материалов Министерства науки и образования Азербайджанской Республики,
г. Сумгайыт, Азербайджан

Аннотация. Впервые взаимодействием *p*-аминопиридина с метакрилоилхлоридом получен *p*-аминопиридинметакрилат. Методами ИК- и ЯМР-спектроскопии доказана его структура. Проведена радикальная гомополимеризация синтезированного *p*-аминопиридинметакрилата как в массе, так и в растворе бензола (инициатор – динитрил азобисизомаасляной кислоты), изучены закономерности процесса. Исследование радикальной полимеризации *p*-аминопиридинметакрилата показало, что процесс полимеризации в найденных условиях протекает без образования побочных реакций и индукционного периода с максимальным выходом 92%. Было обнаружено, что *p*-аминопиридинметакрилат при радикальной полимеризации ведет себя как более активный мономер по сравнению с метилметакрилатом. Структура полученного мономера и полимера исследована методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. На основании данных ИК- и ЯМР-спектров установлено, что процесс полимеризации протекает по двойной связи, а заместители остаются незатронутыми в боковой макроцепи. Исследование процесса полимеризации синтезированного мономера в массе показало, что он протекает с автоускорением. Начало автоускорения начинается при ~25%-м превращении мономера в процессе полимеризации, что согласуется с литературными данными. Выявлено, что полимеризация *p*-аминопиридинметакрилата протекает со скоростью, превосходящей скорость полимеризации метилметакрилата. Вероятно, этот факт связан с влиянием заместителя в мономере на электронное состояние всей молекулы, в результате чего изменяется электронная плотность винильной группы, а растущий радикал стабилизируется с заместителем –*M*-эффектом. Выявлено, что синтезированный полимер обладает высокими антимикробными свойствами.

Ключевые слова: *p*-аминопиридин, метакрилат, гомополимеризация, антимикробность, метакрилоилхлорид, радикальная полимеризация

Для цитирования: Вахабова В.Э., Гулиев К.Г. Синтез *p*-аминопиридинметакрилата, его гомополимеризация и свойства // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 3. С. 333–339. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-333-339>. EDN: BUTVBX.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Synthesis, homopolymerization and properties of *p*-aminopyridine methacrylate

Vusala E. Vakhabova, Kazym G. Guliev✉

Institute of Polymer Materials of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Sumgait, Azerbaijan

Abstract. For the first time, *p*-aminopyridine methacrylate was synthesized by a reaction between *p*-aminopyridine and methacryloyl chloride. IR and NMR spectroscopy confirmed the obtained compound structure. Radical homopolymerization of synthesized *p*-aminopyridine methacrylate was carried out either in bulk or in benzene solution (initiator – AIBN). The study of radical polymerization regularities of *p*-aminopyridine methacrylate discovered no side reactions and induction period of the reported process under the created conditions with a maximum yield of 92%. It was found that *p*-aminopyridine methacrylate is a more reactive monomer in radical polymerization as compared to methyl methacrylate. The structure of the obtained monomer and polymer was investigated by IR and NMR spectroscopy. Based on these data, the polymerization proceeds by a double bond, with substituents in the side macro chain remaining unreacted. The study of the synthesized monomer polymerization in the bulk indicated the presence of the gel effect. The autoacceleration begins at ~25% monomer conversion during the polymerization process, which agrees with the literature data. It was discovered that the polymerization of *p*-aminopyridine methacrylate proceeds at a rate higher than that of methyl methacrylate. This observation is likely to be connected with the substituent contribution to the electronic

state of the entire monomer molecule. Hence, the electron density of the vinyl group changes and the growing radical becomes stabilized with the substituent –M-effect. The polymer synthesized possesses high antimicrobial properties.

Keywords: *p*-aminopyridine, methacrylate, homopolymerization, antimicrobial properties, methacryloyl chloride, radical polymerization

For citation: Vakhabova V.E., Guliev K.G. Synthesis, homopolymerization and properties of *p*-aminopyridine methacrylate. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(3):333–339. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-333-339>. EDN: BUTVBX.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение устойчивых ко многим бактерицидным веществам штаммов и возможность их эпидемического распространения является серьезной проблемой для построения эффективной антибактериальной терапии. В связи с этим становится необходимым поиск средств, обеспечивающих блокировку сразу нескольких факторов устойчивости патогенных микроорганизмов. Для решения этой задачи перспективным представляется использование синтетических полимеров, которые могут оказывать комбинированное воздействие на бактериальную клетку, а также являются более эффективными и менее опасными для человека по сравнению с низкомолекулярными биоцидными веществами, традиционно используемыми для защиты от микроорганизмов.

Полимеры, содержащие в своем составе функционально активные группы, обладают широким спектром медико-биологической активности и используются в качестве бактерицидов, фунгицидов, лекарственных препаратов. Чаще всего для получения таких полимеров применялись мономеры винилового и акрилового ряда, содержащие в структуре мономера амины, карбонильные и другие создаваемые бактерицидные фрагменты [1–6].

В настоящее время некоторые функциональные полимеры получили широкое применение при создании биоцидных и дезинфицирующих средств, флокулянтов, а также композиционных материалов, поверхность которых обладает бактерицидной и фунгицидной активностью¹ [6–18]. Особо востребованными становятся биоцидные препараты с разной степенью гидрофобности. Цель настоящей работы – исследование синтеза мономера *p*-аминопиридинметакрилата (*p*-АПМА) и изучение его радикальной полимеризации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК-спектры полимера записаны на приборе ALPHA ИК-Фурье (Bruker Lumos II, Германия), спектры ЯМР ¹H – на спектрометре Bruker HFR-300 (Bruker, Германия) в CDCl₃; химические сдвиги определены относительно тетраметилсилана.

Синтез *p*-АПМА. В колбу с обратным холодильником помещали 0,5 моль (47 г) *p*-аминопиридина в среде третичного амина ((C₂H₅)₃N); при температуре 30 °С при перемешивании по каплям добавляли 0,6 моль (62,7 г) метакрилоилхлорида в 30 мл абсолютного серного эфира. После завершения реакции (1 ч) смесь экстрагировали серным эфиром, затем сушили, перегоняли легкие фракции (36,5 °С), а потом основную фракцию в вакууме. Выход составил 92%. T_{кип.} = 114–116/3 мм рт. ст.; n_D²⁰ = 1,4202; d₄²⁰ = 0,936.

Элементный анализ C₉H₁₀N₂O. Вычислено, %: С 66,6; Н 6,17; N 17,28. Найдено, %: С 66,8; Н 6,13; N 17,18.

Синтез поли-*p*-аминопиридинметакрилата

Методика полимеризации в растворе. Полимеризацию синтезированного мономера осуществляли в запаянных ампулах в атмосфере азота в растворе бензола (около 3 ч). Полимеризационный раствор, содержащий мономер и инициатор (динитрил азобисизомаляной кислоты (ДАК)), помещали в стеклянную ампулу, смесь продували потоком азота в течение 8 мин. Затем ампулу плотно запаивали и помещали в термостат при 343 К. Концентрация мономера составила 2 моль/л, а инициатора – 0,3 моль% от массы мономера. Образовавшийся полимер очищали двукратным переосаждением из бензольного раствора в метанол и сушили при пониженном давлении (15–20 мм рт. ст.) при температуре 30 °С до постоянной массы. Выход составил 93%.

Методика полимеризации в массе. В однокамерную ампулу помещали 2 г *p*-АПМА и 0,006 г ДАК в качестве инициатора. В присутствии азота помещали в термостат при 343 К в течение 2 ч. По завершении реакции ампулу охлаждали, вскрывали, растворяли в бензоле, затем осаждали в метанол и сушили до постоянной массы. Выход составил 95% – 1,9 г.

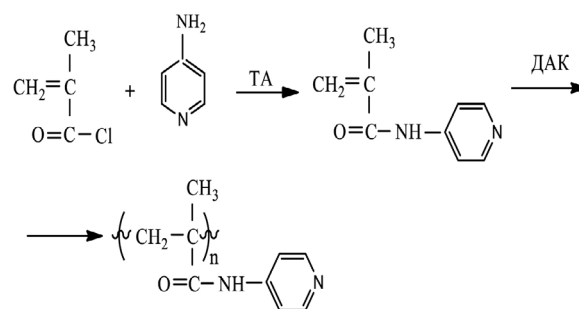
Элементный анализ C₉H₁₀N₂O. Вычислено, %: С 66,6; Н 6,17; N 17,28. Найдено, %: С 66,5; Н 6,09; N 17,08.

Характеристическую вязкость полимера ([η]_{мас.} = 0,58, [η]_{раств.} = 0,66 дЛ/г) определяли в бензоле в вискозиметре Уббелюде.

Кинетику гомополимеризации изучали в обычном однокамерном dilatометре емкостью 13,7 мл с ценой деления измерительной бюретки 0,01 мл. Полученный полимер растворяли в хлороформе и осаждали в метанол.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

p-АПМА и его гомополимер были получены по реакции:



Чистота синтезированного соединения контролировалась методом ГЖХ-анализа (рис. 1) и во всех случаях составила 99,5%.

¹ Sivov N.A., Martynenko A.I., Popova N.I. Handbook of Condensed Phase Chemistry. Nova Science Publ. Inc., 2011.

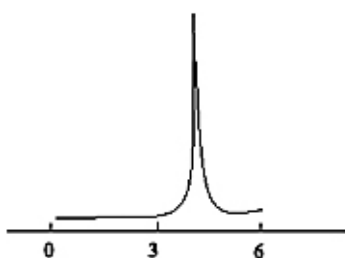


Рис. 1. ГЖХ-анализ *p*-аминопиридинметакрилата
 Fig. 1. GLC analysis of *p*-aminopyridine methacrylate

Радикальную полимеризацию проводили в массе и в растворе бензола в запаянных ампулах в атмосфере азота при 343 К в присутствии ДАК.

Выявлено, что реакционная система остается гомогенной вплоть до высоких конверсий (практически до 92%). Синтезированный полимер представляет собой белый порошок, растворимый в ароматических и хлорсодержащих углеводородах, таких как CH_2Cl_2 , CCl_4 , и некоторых полярных растворителях, таких как DMF, DMSO; и нерастворимый в алифатических углеводородах, низших спиртах и диэтиловом эфире. Выявлено, что синтезированный полимер обладает хорошими пленкообразующими, эластичными и другими свойствами.

Структура полученных полимеров исследована методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. Путем сопоставления ИК-спектров исходного мономера (рис. 2) и полученного полимера (рис. 3), которому принадлежат полосы поглощения 1720 см^{-1} , были обнаружены

полосы поглощения, характеризующие валентные колебания карбонильной группы образующихся полимеров при 1730 см^{-1} (см. рис. 3). Смещение максимума полосы поглощения, характеризующей группу $\text{C}=\text{O}$, находящуюся у полимера, связано с раскрытием двойной связи, что приводит к нарушению сопряжения и перераспределению электронной плотности в структуре мономера. Для *p*-аминопиридина характерны следующие характеристические полосы поглощения связей: пиридиновый цикл характеризуется группой слабых полос, появляющихся на низкочастотной стороне основной полосы $\nu(\text{CH})$ в области $2800\text{--}2700\text{ см}^{-1}$; характерные для N-H -фрагмента соответственно в области 3307 и 3436 см^{-1} ; валентные колебания связи C-N в циклических соединениях в области $1350\text{--}1280\text{ см}^{-1}$, вызванные участием C-N в скелетных колебаниях молекулы; симметричные валентные колебания группы CH_2 при 2724 см^{-1} ; асимметричные и симметричные валентные колебания C-H -группы при 2931 и 2865 см^{-1} соответственно.

Из рис. 3 видно, что полосы поглощения в областях $900\text{--}1000$, $1635\text{--}1640\text{ см}^{-1}$, относящиеся к деформационным и валентным колебаниям двойной связи винильной группы, после полимеризации исчезают.

В ЯМР-спектре протонные сигналы, относящиеся к протонам винильной группы ($4,50\text{--}5,10$ м.д.), отсутствуют в полимерном образце. Остальные резонансные протоны остаются в молекуле полимера незатронутыми.

Результаты спектральных анализов показали, что полимеризация протекает только по двойной связи винильной группы, а аминопиридиновые фрагменты в боковой цепи остаются без изменений.

Для оценки способности синтезированного мономера к полимеризации и выявления ее зависимости от

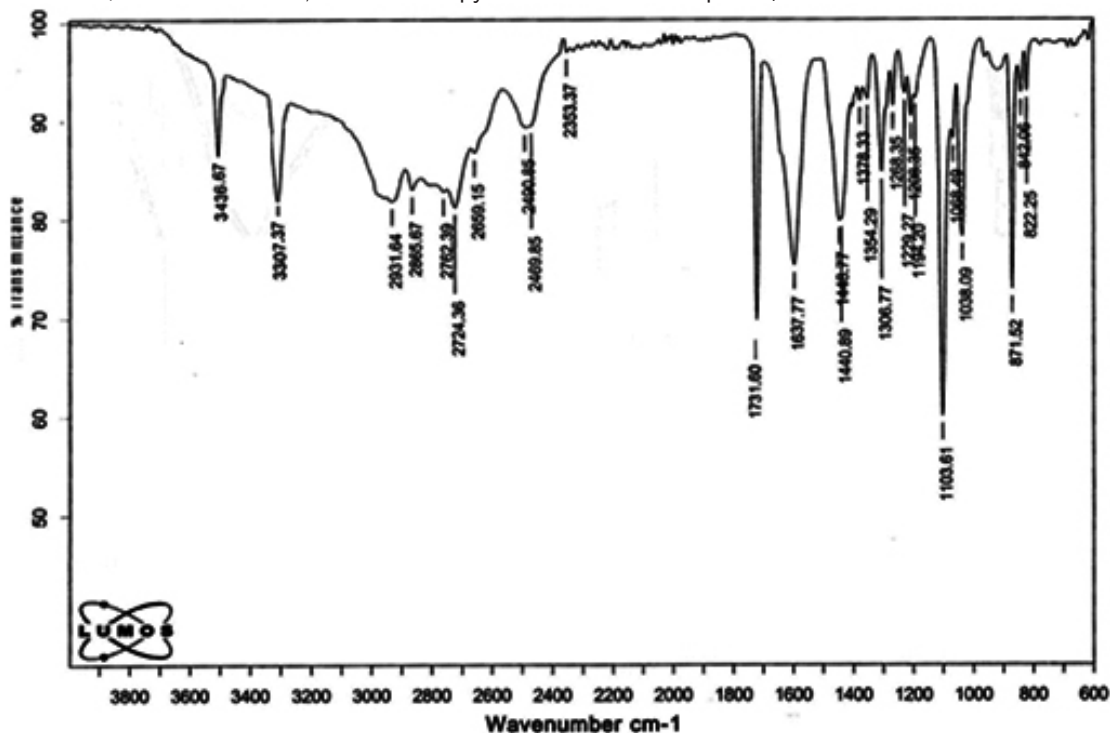


Рис. 2. ИК-спектр *p*-аминопиридинметакрилата
 Fig. 2. IR spectrum of *p*-aminopyridine methacrylate

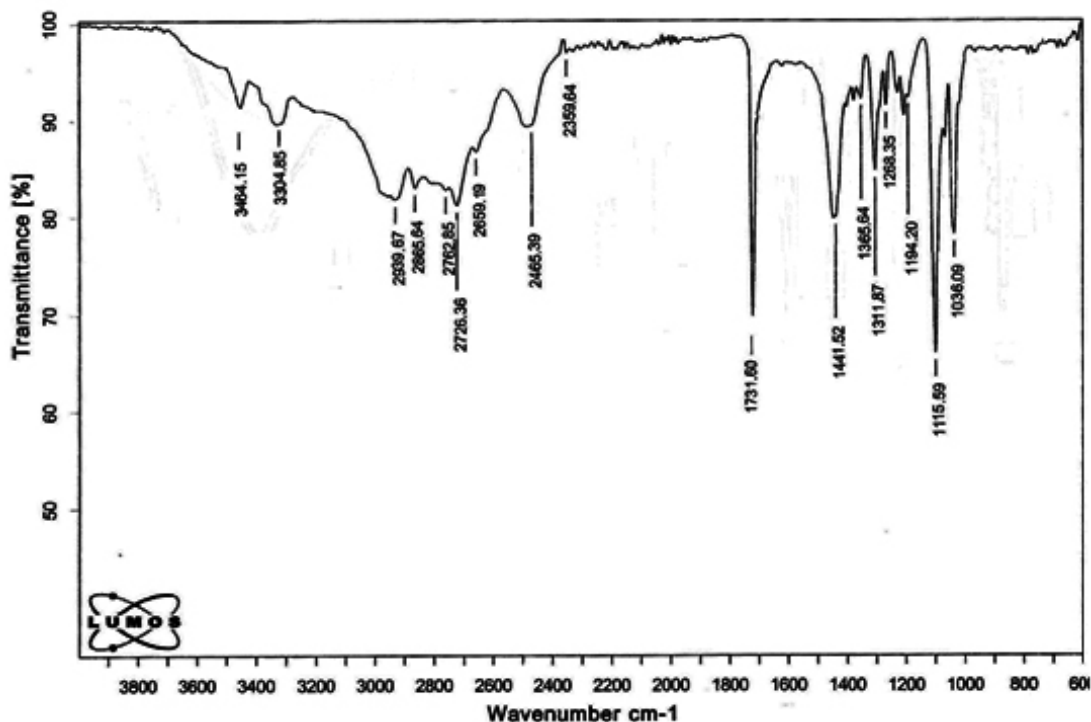


Рис. 3. ИК-спектр поли-*p*-аминопиридинметакрилата

Fig. 3. IR spectrum of poly-*p*-aminopyridine methacrylate

продолжительности полимеризации при выбранных стандартных условиях на рис. 4 представлены полученные кинетические кривые полимеризации синтезированного нами мономера и метилметакрилата. При сопоставлении кинетических кривых видно, что по скорости радикальной полимеризации синтезированный мономер и метилметакрилат различаются между собой: полимеризация *p*-АПМА протекает со скоростью, превосходящей скорость полимеризации метилметакрилата. Такой факт, вероятно, связан с влиянием аминопиридинового фрагмента на винильную группу. Другим важным фактором, влияющим на характер полимеризации, может быть относительная стабильность макрорадикала, ответственного за рост цепи.

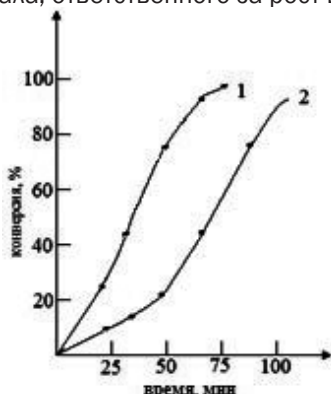


Рис. 4. Зависимость конверсии от продолжительности реакции полимеризации (в массе):

1 – *p*-аминопиридинметакрилат; 2 – метилметакрилат

Fig. 4. Relationship between conversion and polymerization reaction time (in mass): 1 – *p*-aminopyridine methacrylate; 2 – methyl methacrylate

Выявлено, что радикальная полимеризация мономера в массе сопровождается автоускорением. Начало автоускорения начинается при ~25%, что согласуется с работами [19, 20]. Автоускорение радикальной полимеризации *p*-АПМА, вероятно, связано с комплексом структурно-физических переходов полимеризационной системы, обуславливающих изменение характера диффузии растущих полимерных цепей.

Биологические испытания показали достаточно высокую бактерицидную (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) и фунгицидную (*Candida albicans*) активность синтезированного полимера. Зависимость антимикробной активности полимеров от их минимальной ингибирующей концентрации приводится в таблице. Выявлено, что чем меньше значение минимальной ингибирующей концентрации (масс. %), тем выше биоцидный эффект.

Бактерицидные и фунгицидные свойства синтезированного поли-*p*-аминопиридинметакрилата

Bactericidal and fungicidal properties of synthesized poly-*p*-aminopyridine methacrylate

Вещества	Тест-культура		
	<i>E. coli</i>	<i>St. aureus</i>	<i>Can. alb.</i>
Поли- <i>p</i> -аминопиридинметакрилат	0,5	0,8	1,0

Таким образом, в данной работе синтезирован новый *p*-аминопиридинметакрилат и проведена его радикальная гомополимеризация в массе и растворе. Впервые показано, что полученный новый полимер обладает антимикробной активностью. Полученные результаты могут свидетельствовать о перспективности использования его в медицине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезирован мономер *l*-аминопиридинметакрилат, изучена его радикальная гомополимеризация в присутствии инициатора – динитрила азобисизомаасляной кислоты – как в массе, так и в растворе. Показано, что полимеризация протекает аналогично полимеризации винильных мономеров. Структура мономера и полученного на его основе полимера установлена на осно-

вании данных ИК- и ЯМР-спектроскопии. Показано, что полимеризация в массе протекает с автоускорением, ее скорость намного выше, чем при полимеризации метилметакрилата. Выявлено, что полученный полимер обладает антимикробными свойствами и его можно использовать в медицине в качестве биоцидных материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Frommeyer M., Bergander K., Steinbuechel A. Guanidination of soluble lysine-rich cyanophycin yields a homoarginine-containing polyamide // *Applied and Environmental Microbiology*. 2014. Vol. 80, no. 8. P. 2381–2389. <https://doi.org/10.1128/AEM.04013-13>.
2. Сивов Н.А., Клещева Н.А., Валуев И.Л., Валуев Л.И. Биоцидные сополимеры метакрилоилгуанидин гидрохлорида с метакриламидом и диаллилдиметиламмоний хлоридом // *Высокомолекулярные соединения (серия Б)*. 2021. Т. 63. N 5. P. 340–344. <https://doi.org/10.31857/S2308113921050132>.
3. Chen A., Er G., Zhang Ch., Tang J., Alam M., Hang T.T., et al. Antimicrobial anilinium polymers: the properties of poly(N,N-dimethylaminophenylmethacrylamide) in solution and as coatings // *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 2019. Vol. 57, no. 18. P. 1908–1921. <https://doi.org/10.1002/pola.29314>.
4. Малкандуев Ю.А., Хаширова С.Ю., Сарбашева А.И., Байдаева М.Х., Мартыненко А.И., Попова Н.И. [и др.]. Структура гуанидинсодержащих (со)полимеров и их биоцидные и токсические свойства // *Известия вузов. Северо-кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2012. N 2. С. 71–75. EDN: OXHTSD.
5. Мусаев Ю.И., Мусаева Э.Б., Киржинова И.Х. Новые соединения на основе гуанидина и аминогуанидина // *Фундаментальные исследования*. 2011. N 12. С. 143–146. EDN: OFYRLN.
6. Kanth S., Puttaiahgowda Y.M., Nagaraja A., Bukva M. Recent advances in development of poly (dimethylaminoethyl methacrylate) antimicrobial polymers // *European Polymer Journal*. 2022. Vol. 163. P. 110930. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110930>.
7. Tolosa J., Heras G.S., Carrión B., Segura T., Páez P.L., de Lera-Garrido F.J., et al. Structure-activity relationships for poly(phenylene)vinylene derivatives as antibacterial agents // *Chemistry Select*. 2018. Vol. 3. P. 7327. <https://doi.org/10.1002/slct.201801287>.
8. Bazanov D.R., Pervushin N.V., Savitskaya V.Yu., Anikina L.V., Proskurnina M.V., Lozinskaya N.A., et al. 2,4,5-Tris(alkoxyaryl)imidazoline derivatives as potent scaffold for novel p53-MDM2 interaction inhibitors: design, synthesis, and biological evaluation // *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2019. Vol. 29, no. 16. P. 2364–2368. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2019.06.007>.
9. Лавров Н.А. Синтез, модификация и применение медицинских полимеров на основе N-винилсукцинимиды (обзор) // *Известия Санкт-Петербургского технологического института (Технического университета)*. 2018. N 46. С. 68–75. EDN: YTDYAP.
10. Yang Y., Cai Z., Huang Z., Tang X., Zhang X. Antimicrobial cationic polymers: from structural design to functional control // *Polymer Journal*. 2018. Vol. 50. P. 33–44. <https://doi.org/10.1038/pj.2017.72>.
11. Шальнова Л.И., Лавров Н.А. Получение и перспективы применения сополимеров гидразида N-винилсукцинаминовой кислоты как носителя биофункциональных веществ направленного действия // *Пластические массы*. 2019. N 9-10. С. 8–10. EDN: HSURLT. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-8-10>.
12. Gingasu D., Mindru I., Patron L., Ianculescu A., Vasile E., Marinescu G., et al. Synthesis and characterization of chitosan-coated cobalt ferrite nanoparticles and their antimicrobial activity // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2018. Vol. 28, no. 5. P. 1932–1941. <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0870-3>.
13. Lee D., Lee Y.M., Jeong Ch., Lee J., Kim W.J. Bioreducible guanidinylated polyethylenimine for efficient gene delivery // *ChemMedChem*. 2014. Vol. 9, no. 12. P. 2718–2724. <https://doi.org/10.1002/cmdc.201402293>.
14. Menyashv M.R., Gerasin V.A., Guseva M.A., Merekalova N.D., Martynenko A.I., Sivov N.A. *trans*-Polyisoprene-based modified flaky silicates and nanocomposites with biocidal properties // *Polymer Science, Series B: Chemistry*. 2016. Vol. 58, no. 2. P. 226–234. <https://doi.org/10.1134/S1560090416020032>.
15. Tashiroa T. Antibacterial and bacterium adsorbing macromolecules // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2001. Vol. 286, no. 2. P. 63–87. [https://doi.org/10.1002/14392054\(20010201\)286:2<63::AID-MAME63>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/14392054(20010201)286:2<63::AID-MAME63>3.0.CO;2-H).
16. Muñoz-Bonilla A., Cerrada M.L., Fernández-Garsía M. Polymeric materials with antimicrobial activity: from synthesis to applications. RSC Publishing, 2014. P. 1–21.
17. Chambers H.F., De Leo F.R. Waves of resistance: *Staphylococcus aureus* in the antibiotic era // *Nature Review Microbiology*. 2009. Vol. 7, no. 9. P. 629–641. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2200>.
18. Гембицкий П.А., Воинцева И.И. Полимерный биоцидный препарат полигексаметиленгуанидин. Запорожье: Полиграф, 1998. 42 с.
19. Menyashv M.R., Gerasin V.A., Martynenko A.I., Kleshcheva N.A., Popova N.I., Sivov N.A. Features of reactions of radical (co)polymerization of methacryloylguanidine trifluoroacetate in various solvents // *Polymer Science, Se-*

ries B: Chemistry. 2017. Vol. 59, no. 6. P. 650–654.
<https://doi.org/10.1134/S1560090417060057>.

20. Лачинов М.Б., Королев Б.А., Древалъ В.Е., Че-

реп Е.И., Зубов В.П., Кабанов В.А. Связь автоускорения при радикальной полимеризации // Высокомолекулярные соединения. 1982. Т. 24А. N 10. С. 2220–2226.

REFERENCES

1. Frommeyer M., Bergander K., Steinbuechel A. Guanidination of soluble lysine-rich cyanophycin yields a homoarginine-containing polyamide. *Applied and Environmental Microbiology*. 2014;80(8):2381-2389. <https://doi.org/10.1128/AEM.04013-13>.
2. Sivov N.A., Kleshcheva N.A., Valuev I.L., Valuev L.I. Biocidal copolymers of methacryloylguanidine hydrochloride with methacrylamide and diallyldimethylammonium chloride. *Vysokomolekuljarnye soedinenija (serija B) = Polymer Science, Series B*. 2021;63(5):531-535. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S2308113921050132>.
3. Chen A., Er G., Zhang Ch., Tang J., Alam M., Hang T.T., et al. Antimicrobial anilinium polymers: the properties of poly(N,N-dimethylaminophenylmethacrylamide) in solution and as coatings. *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 2019;57(18):1908-1921. <https://doi.org/10.1002/pola.29314>.
4. Malkanduev Yu.A., Khashirova S.Yu., Sarbasheva A.I., Baydaeva M.K., Martynenko A.I., Popova N.I., et al. Structure of guanidine containing (co) polymers and their biocidal and toxic properties. *Izvestija vuzov. Severo-kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki = Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2012;(2):71-75. (In Russian). EDN: OXHTSD.
5. Musaev Y.I., Musaeva E.B., Kirzhinova I.K. NOVEL Compositions on the basis of guanidine and aminoguanidine. *Fundamental'nye issledovanija*. 2011;(12):143-146. (In Russian). EDN: OFYRLN.
6. Kanth S., Puttaiahgowda Y.M., Nagaraja A., Bukva M. Recent advances in development of poly(dimethylaminoethyl methacrylate) antimicrobial polymers. *European Polymer Journal*. 2022;163:110930. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110930>.
7. Tolosa J., Heras G.S., Carrión B., Segura T., Páez P.L., de Lera-Garrido F.J., et al. Structure-activity relationships for poly(phenylene)vinylene derivatives as antibacterial agents. *Chemistry Select*. 2018;3:7327. <https://doi.org/10.1002/slct.201801287>.
8. Bazanov D.R., Pervushin N.V., Savitskaya V.Yu., Anikina L.V., Proskurnina M.V., Lozinskaya N.A., et al. 2,4,5-Tris(alkoxyaryl)imidazole derivatives as potent scaffold for novel p53-MDM2 interaction inhibitors: design, synthesis, and biological evaluation. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2019;29(16):2364-2368. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2019.06.007>.
9. Lavrov N.A. Synthesis, modification and use of medical polymers based on n-vinylsuccinimide (review). *Izvestija Sankt-Peterburgskogo tehnologicheskogo instituta (Tehnicheskogo universiteta)*. 2018;(46):68-75. (In Russian). EDN: YTDYAP.
10. Yang Y., Cai Z., Huang Z., Tang X., Zhang X. Antimicrobial cationic polymers: from structural design to functional control. *Polymer Journal*. 2018;50:33-44. <https://doi.org/10.1038/pj.2017.72>.
11. Shal'nova L.I., Lavrov N.A. Obtaining and prospects for the use of hydrazide N-vinylsuccinamic acid copolymers as a carrier of biofunctional substances with directional effect. *Plasticheskie massy*. 2019;(9-10):8-10. (In Russian). EDN: HSURLT. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-8-10>.
12. Gingasu D., Mindru I., Patron L., Ianculescu A., Vasile E., Marinescu G., et al. Synthesis and characterization of chitosan-coated cobalt ferrite nanoparticles and their antimicrobial activity. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2018;28(5):1932-1941. <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0870-3>.
13. Lee D., Lee Y.M., Jeong Ch., Lee J., Kim W.J. Bioreducible guanidinylated polyethylenimine for efficient gene delivery. *ChemMedChem*. 2014;9(12):2718-2724. <https://doi.org/10.1002/cmdc.201402293>.
14. Menyashchev M.R., Gerasin V.A., Guseva M.A., Merekalova N.D., Martynenko A.I., Sivov N.A. trans-Polyisoprene-based modified flaky silicates and nanocomposites with biocidal properties. *Polymer Science, Series B: Chemistry*. 2016;58(2):226-234. <https://doi.org/10.1134/S1560090416020032>.
15. Tashiroa T. Antibacterial and bacterium adsorbing macromolecules. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2001;286(2):63-87. [https://doi.org/10.1002/14392054\(20010201\)286:2<63::AID-MAME63>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/14392054(20010201)286:2<63::AID-MAME63>3.0.CO;2-H).
16. Muñoz-Bonilla A., Cerrada M.L., Fernández-García M. *Polymeric materials with antimicrobial activity: from synthesis to applications*. RSC Publishing; 2014, p. 1-21.
17. Chambers H.F., De Leo F.R. Waves of resistance: *Staphylococcus aureus* in the antibiotic era. *Nature Review Microbiology*. 2009;7(9):629-641. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2200>.
18. Gembickij P.A., Voinceva I.I. *Polymer biocyclia polyhexamethylenguanidine*. Zaporozh'e: Poligraf; 1998, 42 p. (In Russian).
19. Menyashchev M.R., Gerasin V.A., Martynenko A.I., Kleshcheva N.A., Popova N.I., Sivov N.A. Features of reactions of radical (co)polymerization of methacryloylguanidine trifluoroacetate in various solvents. *Polymer Science, Series B: Chemistry*. 2017;59(6):650-654. <https://doi.org/10.1134/S1560090417060057>.
20. Lachinov M.B., Korolev B.A., Dreval' V.E., Cherep E.I., Zubov V.P., Kabanov V.A. The connection of auto performance in radical polymerization. *Vysokomolekuljarnye soedinenija*. 1982;24A(10):2220-2226. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вахабова Вусала Энам гызы,
научный сотрудник, диссертант,
Институт полимерных материалов
Министерства науки и образования
Азербайджанской Республики,
Az5004, г. Сумгаит, ул. С. Вургуна, 124,
Азербайджан,
vusalavahabova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6278-1047>

Гулиев Казым Гафар оглы,
д.х.н., доцент, исполнительный директор,
Институт полимерных материалов Министерства
науки и образования Азербайджанской
Республики,
Az5004, г. Сумгаит, ул. С. Вургуна, 124,
Азербайджан,
✉ ipoma@science.az; ndilbar@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2613-4459>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 19.10.2022.
Одобрена после рецензирования 13.04.2023..
Принята к публикации 31.08.2023..

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vusala E. Vakhabova,
Researcher, Dissertation Student,
Institute of Polymer Materials
of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan,
124, S. Vurgun St., Az5004, Sumgait, Azerbaijan,
vusalavahabova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6278-1047>

Kazym G. Guliev,
Dr. Sci. (Chemistry), Associate Professor, Executive
Director,
Institute of Polymer Materials of the Ministry
of Science and Education of the Republic
of Azerbaijan,
124, S. Vurgun St., Az5004, Sumgait, Azerbaijan,
✉ ipoma@science.az; ndilbar@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2613-4459>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

The authors declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved by
all the co-authors.*

Информация о статье

The article was submitted 19.10.2022.
Approved after reviewing 13.04.2023.
Accepted for publication 31.08.2023.