

УДК 678:615.28

АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ

*д-р хим. наук М.А. ЗИЛЬБЕРГЛЕЙТ**(Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск);
канд. техн. наук, доц. М.О. ШЕВЧУК; канд. хим. наук С.В. НЕСТЕРОВА
(Белорусский государственный технологический университет, Минск);
канд. хим. наук, доц. С.Ф. ЯКУБОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлены обобщенные результаты анализа литературных данных по исследованиям полимерных материалов, обладающих антимикробными свойствами. Рассмотрены четыре группы полимерных антимикробных материалов, а также их наиболее значимые представители: полимерные материалы с четвертичным атомом азота, полимеры пиридинового типа, производные имидазола, хитозан, полипептидные антибиотики.

Ключевые слова: *полимерные антимикробные материалы, поливинилпиридин, имидазол, хитозан, полипептидные антибиотики.*

Введение. Патогенные микроорганизмы (грамотрицательные и грамположительные бактерии, грибы, микроводоросли, вирусы) способны распространяться путем косвенной передачи, которая включает контакт с зараженными вредоносными микроорганизмами, веществами или поверхностями. В частности, к последним относятся бытовые предметы, текстильные изделия, упаковка пищевых продуктов, медицинские изделия, хирургический и зубоврачебный инструмент, бытовая техника и т.д. В этом смысле полимеры благодаря присущим им ценным свойствам широко и эффективно применяются во всех перечисленных сферах. В связи с этим придание полимерам антимикробных свойств является актуальной задачей, которой ранее не уделялось должного внимания.

По данным MarketsandMarkets™, ожидается, что размер рынка автомобильных пластмасс для легковых автомобилей вырастет до 16,17 млрд долл. США к 2020 году – с 9,86 млрд долл. США в 2014 году при ожидаемом среднем показателе в 8,7% между 2015 и 2020 годами. Азиатско-Тихоокеанский регион является крупнейшим рынком противомикробных пластмасс и, по прогнозам, сохранит эту позицию в течение следующих пяти лет, что обусловлено ростом потребления пластмасс и быстрой урбанизацией, которая стимулирует спрос на противомикробные пластмассы в этом регионе.

Высокие темпы роста отрасли можно объяснить повышением осведомленности потребителей о значении антимикробного пластика. Это, как ожидается, даст толчок глобальному спросу на антимикробный пластик в упаковке и медицинском применении. Очевидно, можно считать, что область антимикробных полимеров неуклонно, но медленно прогрессирует и в течение последних лет, похоже, находится на грани быстрого расширения. Скорее всего, движущей силой этого процесса являются разработки, связанные с имплантатами и биомедицинскими устройствами, а также с текстильными материалами медицинского назначения.

Основная часть. Для различных классов антимикробных полимеров существуют различные химические механизмы их антимикробного действия. Прежде всего, речь идет о взаимодействии с функциональными группами микробной клетки, которые играют важную роль в метаболизме и/или образовании клеточных структур (сульфгидрильные, карбоксильные, альдегидные, спиртовые, аминогруппы).

Если рассмотреть только физические процессы контактов микробов с полимером, то для растворимых полимеров возможна ограниченная диффузия в клетку микроорганизмов, что связано со значительными размерами полимера по сравнению с низкомолекулярными аналогами, а также процессы сорбции на поверхности клетки за счет электростатических, хемосорбционных и других видов адсорбционно-взаимодействия в системе «клетка – полимер» [1]. В конечном итоге нарушается жизнедеятельность клетки за счет потери ее барьерных и транспортных функций вплоть до разрушения ее цитоплазматической мембраны, в результате чего клетка погибает.

Рассматривая совокупность полимерных антимикробных материалов, их можно разбить на четыре категории: а) полимеры с антимикробной активностью; б) полимеры, которые подвергаются химическим модификациям для достижения антимикробной активности; в) полимеры, содержащие в виде добавок антимикробные органические соединения; г) полимеры, содержащие в виде добавок антимикробные неорганические соединения. В определенном смысле такая классификация достаточно условна, так как в литературе зачастую встречаются различные комбинации этих веществ, в которых трудно оценить вклад каждой составляющей.

Полимеры с антимикробной активностью. Как видно из их названия, эти полимеры отображают антимикробную активность сами по себе. Обычно их химическая структура используется в качестве

ключевой характеристики. К ним принадлежат полимеры с четвертичными атомами азота (акриловые и метакриловые полимеры, катионные сопряженные полиэлектролиты, полисилоксаны, полиоксазолины, полиионены и др.); гуанидинсодержащие полимеры; полимеры, имитирующие природные пептиды (синтетические пептиды, ариламидные и фенилен-этиниленовые каркасные полимеры, галоген полимеры, производные полиинорборнена); галогеновые полимеры (фтор или хлорсодержащие полимеры, полимерные N-галамины); полимеры, содержащие фосфо- и сульфопроизводные, производные фенола и бензойной кислоты, металлоорганические полимеры и другие.

Полимеры, которые подвергаются химическим модификациям для достижения антимикробного действия. Существуют разные подходы для включения антимикробной активности в полимеры. В частности, можно различить несколько вариантов, если речь идет о химической модификации: небольшая молекула с антимикробной активностью ковалентно связана с полимером; антимикробные пептиды фиксируются на неактивных полимерах и противомикробные полимеры привиты к обычным полимерам. Во всех этих случаях желательно, чтобы химическая модификация не вызывала ухудшения свойств конечного полимерного материала.

Полимеры, содержащие антимикробные органические соединения. В этом случае антимикробная активность обусловлена нековалентными связями между антимикробными агентами, природными или синтетическими, и полимерами с соответствующим высвобождением агентов.

Полимеры, включающие противомикробные неорганические соединения. Из неорганических веществ сильным антимикробным действием обладают: соли тяжелых металлов (ртути, меди, серебра); окислители – хлор, озон, йод, пероксид водорода, хлорная известь, перманганат калия); щелочи и кислоты (едкий натр, сернистая, фтористо-водородная, борная кислоты); некоторые газы (сероводород, оксид углерода, сернистый, углекислый газ).

Полимерные материалы с четвертичным атомом азота. Принято считать, что такие материалы широко распространены, однако, согласно литературным данным, количество публикаций начиная с 1998 года не превышает 80 наименований. Очевидно, это обусловлено тем, что основная масса исследований проведена в 70-е годы прошлого столетия. Как известно, большинство бактериальных клеточных стенок заряжены отрицательно, так как содержат в качестве основного компонента фосфатидилэтаноламин, а также остатки сиаловых и тейхоевых кислот. Следовательно, большинство антимикробных полимеров для осуществления взаимодействия с клеткой должны быть заряжены положительно. В этом отношении полимеры с четвертичным атомом азота, вероятно, являются наиболее изученным видом полимерных биоцидов.

Полимеры пиридинового типа (мономеры – производные винилпиридина) являются яркой демонстрацией сказанного выше. В частности, в работах [2–6] показано, что на поверхности часового стекла после силанизации, аминирования, бромалкилирования и прививки поливинил N-гексилпиридина образуется слой, подавляющий деятельность эпидермального стафилококка, синегнойной и кишечной палочки (рисунок 1).

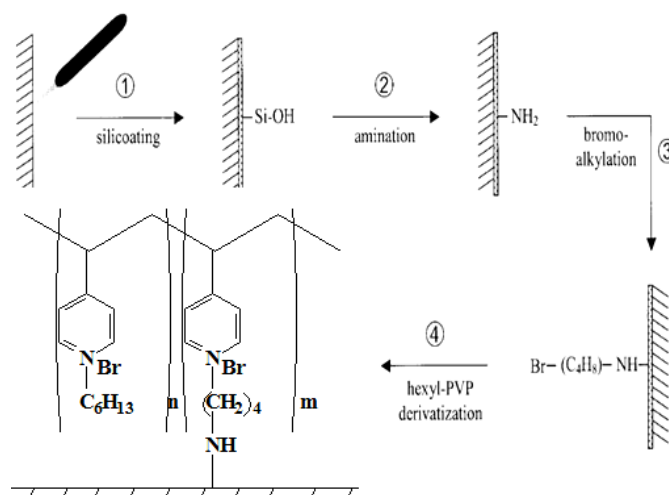


Рисунок 1. – Схема силанизации, аминирования, бромалкилирования и прививки поливинил N-гексилпиридина на стекло

Несмотря на бактерицидную эффективность четвертичных поливинилпиридинов, они демонстрируют минимальную биосовместимость, что ограничивает их использование в биоматериалах. Включение гидрофильных и биосовместимых полимеров в общую цепь путем их сополимеризации позволило улучшить как противомикробную эффективность, так и биосовместимость. Очевидно, что основную роль иг-

рают процессы смачивания. Так, при использовании сополимера поливинил N-гексилпиридина бактерицидная активность была усилена за счет сополимеризации с гидрофильными и биосовместимыми мономерами 2-гидроксиэтилметакрилатом и полиэтиленгликолевый эфиром метилметакрилата [7].

В научной работе [8] показано, что сополимеры поливинилпиридина и полиметакрилатов обладают наибольшей эффективностью при сходных соотношениях заряд/алкильный хвост, и при этом пространственное разделение усиливало способность разрушать мембрану (рисунок 2).

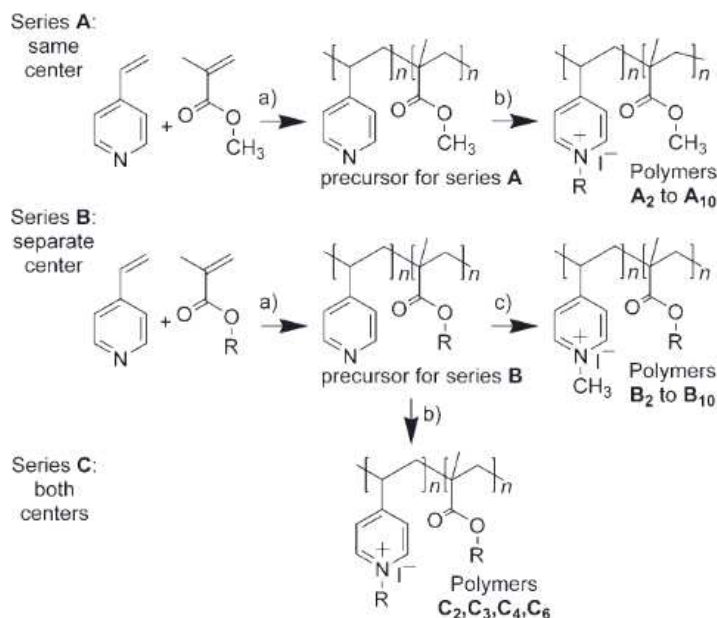


Рисунок 2. – Синтез катионных полимеров по [8]

Характер противоионов может влиять на антимикробную активность. Так, был синтезирован поли (4-винил-2-гидроксиэтилпиридиний) хлорид, и его противоион Cl⁻, заменен Br⁻, OH⁻, SH⁻, NO₃⁻, BF₄⁻ или CF₃COO⁻ [9]. Антимикробную активность этих полимеров анализировали в отношении *Aspergillus niger*, *Mucor circenelioids* и *Bacillus coagulans*. Полимер, имеющий в качестве противоиона OH⁻, проявлял наибольшую активность со значениями: минимальная ингибирующая концентрация составила 1,04 и 0,52 мг/мл против грибов *M. Circenelioids*, *A. niger* соответственно, и 0,065 мг/мл против бактерии *B. coagulans*.

Другим семейством антимикробных ароматических/гетероциклических полимеров [9; 10] являются производные имидазола (рисунки 3, 4).

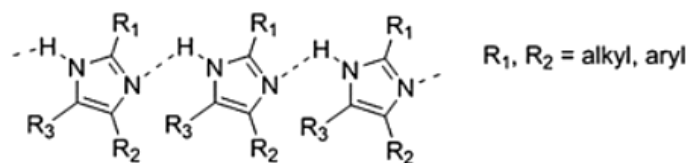


Рисунок 3. – Фрагмент полимерных производных имидазола

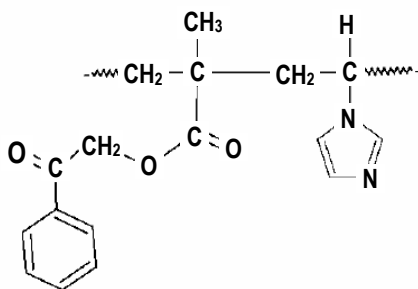


Рисунок 4. – Сополимер N-винилимидазола и фенилацилметакрилата

Важным является вопрос, связанный с влиянием молекулярной массы полимера на антимикробную активность. Как правило, с увеличением молекулярной массы активность падает. Так, например, в [12] показано, что с уменьшением молекулярной массы полимера (рисунок 5) примерно в 2,5 раза минимальная ингибирующая активность против *E. coli* и *S. aureus* возросла в 10...20 раз.

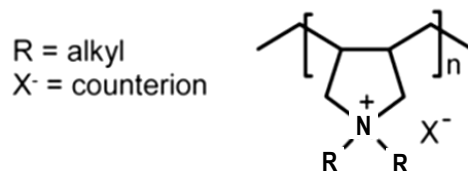


Рисунок 5. – Имидазольный полимер по [12]

Этими же авторами [12] показано, что замена четвертичной аммониевой группы в пирролидине группами NH₂⁺ или CH₃NH⁺ в значительной степени влияет на антимикробную активность этих полимеров.

Полигексаметиленбигуанид (ПГМГ) в виде гидрохлорида или фосфата является химическим биоцидом и членом полимерного семейства гуанидинов (рисунок 6), он используется в качестве дезинфицирующего и антисептического средства в пищевой промышленности и весьма успешно – для дезинфекции бассейнов. Этот широко используемый биоцид был рассмотрен Агентством по охране окружающей среды США (EPA) и отмечен как имеющий очень низкий совокупный риск неблагоприятных последствий для здоровья населения или окружающей среды (EPA, 2005) [13–20].

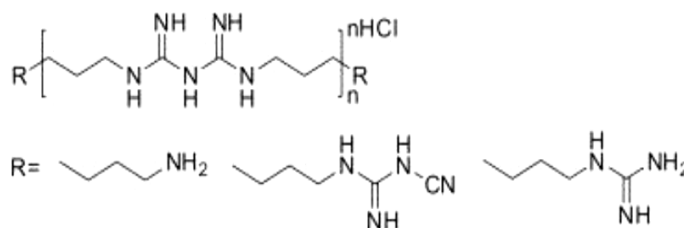


Рисунок 6. – Химическая структура ПГМГ

Вопрос о токсичности ПГМГ рассматривался в 2014 году в одной из последних работ по этой тематике [21], в которой было установлено, что ПГМБ не является генотоксичным и мутагенным, однако остаются проблемы, которые подлежат дальнейшим обсуждениям.

Хитозан – линейный полисахарид, полимерная цепь которого состоит из β-1,4-связанных остатков D-глюкозамина и N-ацетил-D-глюкозамина (рисунок 7). Впервые его антимикробные свойства начали изучать в 80-х годах прошлого века [22]. Однако систематически он изучается начиная с 2000 года. В частности, за 2018 год число публикаций по антимикробным свойствам хитозана составило 139 наименований.

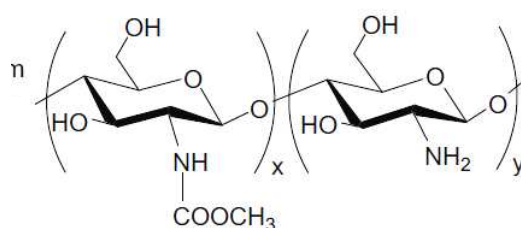


Рисунок 7. – Хитозан как частично деацетилированный хитин

В отличие от многих полимерных антимикробных материалов, которые наряду с антимикробной активностью обладают токсичностью, для хитозана токсичность не выявлена [23–33].

Ряд авторов отмечает чрезвычайно низкие значения минимальной ингибирующей концентрации хитозана и его производных (рисунок 8) [34–37]. При этом очевидно, что с уменьшением молекулярной массы хитозана его антимикробные свойства возрастают и приближаются к значениям, близким к наносеребру.

Bacteria tested	M.I.C. (%)			
	Chitin	Chitosan	N-acetyl chito-oligosaccharides	chito-oligosaccharides
<i>Escherichia coli</i>	0.01	0.01	0.003	0.003
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	> 0.1	0.05	0.003	0.003
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300	0.03	0.03	0.003	0.003
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	0.03	0.03	0.003	0.003
<i>Salmonella typhimurium</i>	> 0.1	> 0.1	0.003	0.003
<i>Bacillus subtilis</i>	0.03	0.01	0.003	0.003
<i>Bacillus cereus</i>	0.03	0.01	0.003	0.003
<i>Vibrio cholerae</i>	0.01	0.01	0.003	0.003
<i>Shigella dysenteriae</i>	0.01	0.01	0.003	0.003
<i>Enterobacter agglomerans</i>	0.01	0.01	0.003	0.003
<i>Prevotella melaninogenica</i>	> 0.1	0.01	0.003	0.003
<i>Bacteroides fragilis</i>	0.006	0.006	0.003	0.003

Рисунок 8. – Величины минимальной ингибирующей концентрации (МИС) для высоко- и низкомолекулярного хитина и хитозана

Антимикробные свойства белков и пептидов [38]. Основные пептиды ингибируют или активируют ряд ферментных систем, вызывают агглютинацию клеток, оказывают антибактериальное действие. Общим для этих веществ является наличие в их структуре большого числа основных кислот – лизина, аргинина, орнитина и диаминамасляной кислоты.

Литическая активность (способность разрушать клетку) этих пептидов связана с высокой плотностью положительного заряда на молекуле и высоким содержанием неполярных аминокислот. Подобные свойства проявляют протамин, спермин, лизоцим и основные гистоны.

Полипептидные антибиотики [39]. Особый класс полимеров, обладающих высокой антимикробной активностью, составляют некоторые природные пептиды и их синтетические аналоги, имеющие линейную или циклическую структуру и относительно небольшую молекулярную массу. Прежде всего, это сложные пептидные антибиотики группы грамицидина, тиронилина, аламетицина и полимиксина.

Другую группу составляют циклические депептиды – атипичные пептиды, молекулы которых построены из остатков amino- и оксикислот, соединенных между собой сложноэфирными и амидными связями, например депсипептид (рисунок 9).

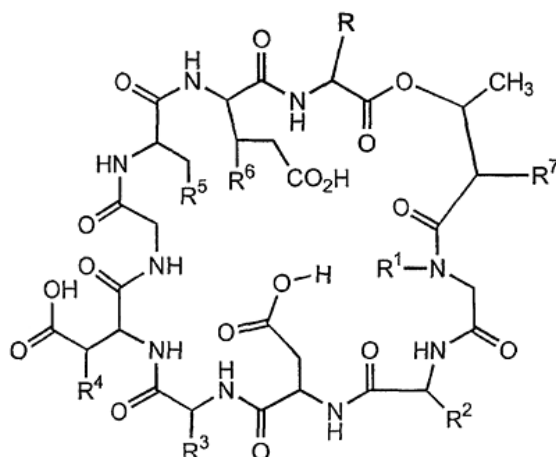


Рисунок 9. – Циклический дипептид

Синтетические полимеры, содержащие в своей структуре основные аминокислоты, такие как: лизин (2,6-диаминогексановая кислота); орнитин (диаминовалериановая кислота); аргинин (2-амино-5-гуанидинпентановая кислота), оказались потенциальными антимикробными агентами. Эти полимеры и сополимеры получали полимеризацией N-карбоксиянгидридов, несущих присоединенные амидными связями заместители, являющиеся производными аминокислот.

Таким образом, очевидно, что в последнее время значительно возрос интерес к полимерным антимикробным материалам. Так, если за период 1995–1999 годов, по данным сайта www.sciencedirect.com,

количество публикаций, в которых в заголовках и ключевых словах упоминался этот термин, составляло 33 наименования, то уже за последний пятилетний период (2014–2018 гг.) их число превысило 1200. Причем эти публикации представлены в журналах с импакт-фактором до 5, например, таком известном, как *Carbohydrate Polymers*. В то же время выдача патентов имеет несколько иной характер. Всего за рассмотренный выше период было выдано 150 патентов, имеющих в составе ключевых слов термин «antimicrobial polymers». Из них за период 1995–1999 годов – 75 патентов, за 2014–2018 годов – 24. При этом следует отметить, что Азиатско-Тихоокеанский регион является крупнейшим рынком противомикробных пластмасс и по прогнозам сохранит эту позицию в течение следующих пяти лет, что обусловлено ростом потребления пластмасс и быстрой урбанизацией, которая стимулирует спрос на противомикробные пластмассы в указанном регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kenaway, El-Refaie. The Chemistry and Applications of Antimicrobial Polymers: A State of the Art Review / Kenaway, El-Refaie, S.D. Worley, Roy Broughton // *Bio Macromolecules*. – 2007. – V. 8, № 5. – P. 1359–1384.
2. Polymer surfaces derivatized with poly(vinyl-Nhexylpyridinium) kill airborne and waterborne bacteria / J.C. Tiller [et al.] // *Biotechnol Bioeng*. – 2002. – V. 79. – P. 465–471.
3. Designing surfaces that kill bacteria on contact / J.C. Tiller [et al.] // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2001. – V. 98. – P. 5981–5985.
4. Antibacterial activities of polystyrene-block-poly(4-vinyl pyridine) and poly(styrene-random-4-vinyl pyridine) / E.S. Park [et al.] // *Eur. Polym. J.* – 2004. – V. 40. – P. 2819–2822.
5. Li, G. A study of pyridinium-type functional polymers. Behavioral features of the antibacterial activity of insoluble pyridinium-type polymers / G. Li, J. Shen // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2000. – V. 78. – P. 676–684.
6. Synergistic activity of hydrophilic modification in antibiotic polymers / P.H. Sellenet [et al.] // *Biomacromolecules*. – 2007. – V. 8. – P. 19–23.
7. Synergistic activity of hydrophilic modification in antibiotic polymers / P.H. Sellenet [et al.] // *Biomacromolecules*. – 2007. – V. 8. – P. 19–23.
8. Sambhy, V. Antibacterial and hemolytic activities of pyridinium polymers as a function of the spatial relationship between the positive charge and the pendant alkyl tail / V. Sambhy, B.R. Peterson, A. Sen // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2008. – V. 47. – P. 1250–1254.
9. Tuning anti-microbial activity of poly(4-vinyl 2-hydroxyethyl pyridinium) chloride by anion exchange reactions / S. Sharma [et al.] // *J. Mater. Sci Mater. Med.* – 2010. – V. 21. – P. 717–724.
10. Anderson, E.B. Imidazole- and imidazolium-containing polymers for biology and material science applications / E.B. Anderson, T.E. Long // *Polymer*. – 2010. – V. 51. – P. 2447–2454.
11. Soykan, C. Microbial screening of copolymers of N-vinylimidazole with phenacyl methacrylate: synthesis and monomer reactivity ratios / C. Soykan, R. Coskun, A. Delibas // *J. Macromol. Sci. Pure Appl. Chem.* – 2005. – V. 42. – P. 1603–1619.
12. Secondary and tertiary polydiallylammonium salts: novel polymers with high antimicrobial activity / L.M. Timofeeva [et al.] // *Biomacromolecules*. – 2009. – V. 10. – P. 2976–2986.
13. Walczak, M. The effect of polyhexamethylene guanidine hydrochloride (PHMG) derivatives introduced into polylactide (PLA) on the activity of bacterial enzymes / Walczak M., Richert A. & A. Burkowska-But // *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* – 2014. – V. 41. – P. 1719–1724.
14. Structural characterization and antibacterial activity of oligoguanidine (polyhexamethylene guanidine hydrochloride) / D. Wei [et al.] // *Materials Science and Engineering*. – 2009. – V. 9. – P. 1776–1780.
15. Roth, B. Polihexanide for wound treatment – how it began / B. Roth, F.H.H. Brill // *Skin Pharmacol. Physiol.* – 2010. – V. 23 (1). – P. 4–6.
16. Polyhexamethylene guanidine hydrochloride-based disinfectant: a novel tool to fight meticillin-resistant staphylococcus aureus and nosocomial infections / M.K. Oulé [et al.] // *J. Med. Microbiol.* – 2008. – V. 57. – P. 1523–1528.
17. Polybiguanides, particularly amethylene biguanide, have activity against human immunodeficiency virus type 1 / F.C. Krebs [et al.] // *Biomed. Pharmacol.* – 2005. – V. 59. – P. 438–445.
18. O'Malley, L.P. Microbial degradation of the biocide polyhexamethylene biguanide: isolation and characterization of enrichment consortia and determination of degradation by measurement of stable isotope incorporation into DNA / L.P. O'Malley, C.H. Shaw, A.N. Collins // *Journal of Applied Microbiology*. – 2007. – V. 103. – P. 1158–1169.
19. Butcher, M. PHMB: an effective antimicrobial in wound bioburden management / M. Butcher // *British Journal of Nursing*. – 2012. – V. 21 (12). – P. 16–21.
20. De Paula, G.F. Physical and Chemical Characterization of Poly(hexamethylene biguanide) Hydrochloride / G.F. de Paula, G.I. Netto, L.H.C. Mattoso // *Polymers*. – 2011. – V. 3. – P. 928–941.

21. Study of Epigenetic Properties of Poly (HexaMethylene Biguanide) Hydrochloride (PHMB) / E.E. Creppy [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2014. – V. 11. – P. 8069–8092.
22. Atomis force microscopy of gastrin mucin and chitosan mucoadhesive systems / M.P. Deacon [et al.] // *Biochem. J.* – 2000. – V. 348. – P. 557–563.
23. Quality assurance in pathology for rodent carcinogenicity studies / G.A. Boorman [et al.]. In *Handbook of Carcinogen Testing* (H.A. Milman and E.K. Weisburger, Eds.) // Noyes Publications, Park Ridge, NJ. – 1985. – P. 345–357.
24. Carvalho, T.S. Combined effect of a fluoride-, stannous- and chitosan-containing toothpaste and stannous-containing rinse on the prevention of initial enamel erosion-abrasion / Carvalho T.S., Lussi A. // *J. Dent.* – 2014. – V. 42. – P. 450–459.
25. Chae, S.Y. Influence of molecular weight on oral absorption of water soluble chitosans / S.Y. Chae, Jang M.-K., J.-W. Nah // *J. Control. Release*. – 2005. – V. 102. – P. 383–394.
26. Cheng, Q. Prenatal and developmental effect of high molecular weight chitosan (HMWCS) to mice / Q. Cheng, J. Zhang, W. Xia // *Regul. Toxicol. Pharmacol.* – 2013. – V. 65. – P. 294–303.
27. Chiang, M.-T. Effect of dietary chitosans with different viscosity on plasma lipids and lipid peroxidation in rats fed on a diet enriched with cholesterol / M.-T. Chiang, H.-T. Yao, H.-C. Chen // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* – 2000. – V. 64. – P. 965–971.
28. Continuous and massive intake of chitosan affects mineral and fat-soluble vitamin status in rats fed on a high-fat diet / K. Deuchi [et al.] // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* – 1995. – V. 59. – P. 1211–1216.
29. Deuchi, K. Effect of the viscosity or deacetylation degree of chitosan on fecal fat excreted from rats fed on a high-fat diet / K. Deuchi [et al.] // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* – 1995. V. 59. – P. 781–785.
30. Dixon, W.J. Jr. *Introduction to Statistical Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, Inc. / W.J. Dixon, and F.J. Massey. – New York. – P. 276–278, 412.
31. Domard, A. Preparation and characterization of fully deacetylated chitosan / A. Domard, M. Rinaudo // *Int. J. Biol. Macromol.* – 1983. – V. 5. – P. 49–52.
32. Effects of habitual chitosan intake on bone mass, bone-related metabolic markers and duodenum CaBP D9K mRNA in ovariectomized SHRSP rats / C.-Y. Yang [et al.] // *J. Nutr. Sci. Vitaminol (Tokyo)*, 2002. – V. 48. – P. 371–378.
33. The controlling biodegradation of chitosan fibers by N-acetylation in vitro and in vivo / Y.M. Yang [et al.] // *J. Mater. Sci. Mater. Med.* – 2007. – V. 18. – P. 2117–2121.
34. Monarul, M.D. In vitro antibacterial activity of shrimp chitosan against salmonella paratyphi and staphylococcus aureus / M.D. Monarul, Dhan M.D., K.R.M. Masum // *Journal of Bangladesh Chemical Society*, 2011. – V. 24 (2). – P. 185–190.
35. Annaian, S. Preparation, characterization and antibacterial activity of chitosan and phosphorylated chitosan from cuttlebone of *Sepia kobeensis* / S. Annaian, K. Kandasamy, N. Lakshman // *Biotechnology Reports*. – 2016. – V. 9. – P. 25–30.
36. Антибактериальные и антиоксидантные свойства хитозана и его производных / Л.А. Иванушко [и др.] // *Тихоокеанский медицинский журнал*. – 2009. – № 3. – С. 82–85.
37. Взаимодействие бактериальных эндотоксинов с хитозаном. Влияние структуры эндотоксина, молекулярной массы хитозана и ионной силы раствора на процессы комплексообразования / В.Н. Давыдова [и др.] // *Биохимия*. – 2000. – Т. 65, № 9. – С. 1278–1287.
38. Афиногенов, Г.Е. Антимикробные полимеры / Г.Е. Афиногенов, Е.Ф. Панарин. – СПб. : Гиппократ, 1993. – 264 с.
39. Новые депсипептиды и способы их получения : пат. RU № 2348647 / Дж. Финн, М. Моритко, Ян Б. Парр, М. Джанглвл. – Оpubл. 10.03.2009.

Поступила 15.02.2019

ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF CATIONIC POLYELECTROLYTES

M. ZILBERGLEIT, M. SHAUCHUK, S. NESTSERAVA, S. YAKUBOVSKIY

The article summarizes the results of the analysis of literature data on studies of polymeric materials with antimicrobial properties. Four groups of polymeric antimicrobial materials are considered, as well as their most significant representatives: polymeric materials with a quaternary nitrogen atom, polymers of the pyridine type, imidazole derivatives, chitosan, polypeptide antibiotics.

Keywords: *polymeric antimicrobial materials, polyvinylpyridine, imidazole, chitosan, polypeptide antibiotics.*