



УДК 579.61

Оценка влияния наночастиц серебра, стабилизированных полимерными соединениями, на выживаемость штаммов *Staphylococcus aureus*



Т. А. Шульгина, Е. В. Глинская, О. В. Нечаева, А. С. Торгашова, К. В. Зубова

Шульгина Татьяна Андреевна, биолог отделения лабораторной диагностики НИИ травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, tshylgina2012@yandex.ru

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, elenavg-2007@yandex.ru

Нечаева Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., olgav.nechaeva@rambler.ru

Торгашова Анна Сергеевна, студент, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, gekon_toki@mail.ru

Зубова Ксения Валерьевна, студент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, zubovaksushechka@mail.ru

Изучена антимикробная активность наночастиц серебра, стабилизированных различными природными и синтетическими полимерными соединениями, в отношении стандартного и клинических штаммов *Staphylococcus aureus*. Установлено, что наибольшей эффективностью характеризовались наночастицы серебра, стабилизированные поливиниловым спиртом, карбоксиметилцеллюлозой и полиазолидинаммонием, модифицированным гидрат-ионами йода. Концентрации наночастиц 1–3% оказывали антибактериальное действие в отношении всех исследуемых штаммов бактерий. Низкая чувствительность исследуемых штаммов к действию наночастиц, стабилизированных олеатом натрия *S. aureus*, вероятно, связана с его низкой стабилизирующей способностью и высокой скоростью агрегации наночастиц. Высокий уровень токсичности додецилсульфатом натрия приводил к повышению его антимикробной активности. Проведенные исследования позволили установить, что наиболее перспективным антимикробным компонентом при разработке антисептических и дезинфицирующих средств являются наночастицы серебра, стабилизированные полиазолидинаммонием, модифицированным гидрат-ионами йода.

Ключевые слова: наночастицы серебра, стабилизаторы, антимикробная активность, *Staphylococcus aureus*.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-331-337>

Одной из актуальных проблем современности являются рост встречаемости и распространение антибиотикорезистентных штаммов условно-патогенных микроорганизмов [1, 2].

Этому способствуют нерациональная антибиотикотерапия, несоблюдение схем приема антимикробных препаратов, их избыточное назначение, в том числе для профилактики инфекционных осложнений, а также самолечение антибиотиками [3, 4]. Важную роль в распространении устойчивых штаммов микроорганизмов играют домашние животные, поскольку антибиотики могут входить в состав кормов, а также использоваться в качестве стимуляторов роста [5]. Так, например, животные могут быть источником метициллинрезистентных *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, бактерий *Salmonella*, *Campylobacter*, передача которых человеку происходит при непосредственном контакте или алиментарным путем [6, 7].

Поэтому поиск и внедрение в практику альтернативных антимикробных препаратов, позволяющих преодолевать антибиотикорезистентность возбудителей, являются актуальными [8]. В настоящее время нанотехнологии находят широкое применение в различных областях прикладной микробиологии, ветеринарии и медицины. В частности, в качестве эффективного антимикробного компонента широко применяются наночастицы серебра, поскольку в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют данные о формировании к ним устойчивости [9]. Вероятно, это связано со специфическим механизмом действия наночастиц серебра на микробные клетки, которое проявляется в изменении проницаемости их поверхностных структур, влиянии на белки, нуклеиновые кислоты, а также нарушении процесса адгезии на чувствительных клетках макроорганизма [10–13].

Однако ограничивающими факторами использования наночастиц металлов в медицинской и ветеринарной практике являются их высокая токсичность и низкий уровень стабильности, в результате чего происходит их агрегация и утрата уникальных биоцидных свойств [14, 15]. Поэтому выбор стабилизатора, необходимого для поддержания металлических структур в наноразмерном диапазоне, имеет очень важное значение.

В связи с вышеизложенным целью работы являлись исследование антимикробной актив-



ности наночастиц серебра, стабилизированных природными и синтетическими полимерами, и выбор наиболее перспективных вариантов для использования в медико-биологической практике.

Материалы и методы

В исследованиях использовали наночастицы серебра (ООО М9, Тольятти), характеристика которых представлена в таблице.

Характеристика исследуемых наночастиц металлов
Characterization of the Metal Nanoparticles

№	Лабораторный шифр / Laboratory cipher	Характеристика препарата / Preparation Characteristics
1	Ag/PVA	Наночастицы серебра, стабилизированные поливиниловым спиртом / Silver nanoparticles Stabilized with Polyvinyl Alcohol
2	Ag/CMC	Наночастицы серебра, стабилизированные карбоксиметилцеллюлозой / Silver Nanoparticles Stabilized by Carboxymethyl Cellulose
3	Ag/OleNa	Наночастицы серебра, стабилизированные олеатом натрия / Silver Nanoparticles Stabilized with Sodium Oleate
4	Ag/SDS	Наночастицы серебра, стабилизированные додецилсульфатом натрия / Stabilized with Sodium Dodecyl Sulfate
5	Ag/PG-m	Наночастицы серебра, стабилизированные полиазолидинаммонием, модифицированным гидрат-ионами йода / Silver Nanoparticles Stabilized with Polyazolidinammonium Modified with Iodine Hydrate ions

В качестве экспериментальной модели использовали стандартный штамм *S. aureus* 209 P, клинические штаммы *S. aureus*, которые были выделены от больных с гнойным поражением кожных покровов, находящихся на амбулаторном лечении в ГУЗ Саратовский областной клинический кожно-венерологический диспансер. Выбор стафилококков в качестве объекта исследования был связан с тем, что они, являясь условно-патогенными микроорганизмами, могут входить в состав нормальной микрофлоры кожных покровов, играть ведущую роль в развитии инфекционных патологий данной локализации.

Оценку антимикробной активности разных вариантов наночастиц серебра проводили с использованием метода серийных разведений в твердой питательной среде [16]. Для этого получали последовательные разведения исследуемых препаратов, вносили их в состав мясо-пептонного агара (МПА) с учетом концентрации и разливали в стерильные чашки Петри. Согласно рекомендации фирмы производителя, исследования проводили с концентрацией опытных образцов: 3, 2, 1, 0,5, 0,25 и 0,125%. В качестве контроля использовали посевы микроорганизмов на питательные среды без добавления наночастиц серебра. Микробную взвесь штаммов *S. aureus* (10^4 м.к./мл) наносили по 100 мкл на поверхность МПА и равномерно распределяли шпателем. Посевы инкубировали в течение 24 ч в термостате при температуре 37° С, после чего подсчитывали количество выросших колоний и сравнивали их с контрольным посевом. Жизнеспособность бактерий оценивали по числу

колониеобразующих единиц (КОЕ). В исследованиях не использовали наночастицы серебра без стабилизаторов, поскольку их отсутствие приводило к быстрой агломерации наноструктур и утрате наноразмерных характеристик.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программного обеспечения Statistica 10 (for Windows, Stat Soft Inc., США), Microsoft Excel 2003 (for Windows XP). Определяли χ^2 при ранговом дисперсионном анализе и конкордации Кендалла. Для проведения многофакторного анализа использовали построение нормальной логарифмической модели. Статистические результаты считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Изучение антимикробной активности наночастиц серебра, стабилизированных синтетическим полимером – поливиниловым спиртом, – показало неодинаковую чувствительность к нему исследуемых штаммов стафилококков. Наибольшей чувствительностью характеризовался стандартный штамм *S. Aureus* 209 P, концентрации наночастиц серебра 0,5–3% приводили к отсутствию роста штамма, а концентрации 0,125 и 0,25% снижали показатели КОЕ на 90,2 и 70,4% соответственно. Сходные результаты были получены при культивировании клинических штаммов *S. aureus* № 21, 111, 311 и 327 на среде в присутствии Ag/PVA, который значительно подавлял рост бактерий в диапазоне концентраций 0,5–3%, а более низкие концентрации снижали показатели КОЕ на 88,3–95,9%. Наибольшая



устойчивость к действию Ag/PVA была установлена для штамма *S. aureus* № 3, поскольку отсутствие роста было показано для концентраций препарата 1–3%, а более низкие концентрации способствовали снижению значений КОЕ на 65,9–80,7% (рис. 1).

Аналогичные результаты были получены при культивировании стандартного и клинических штаммов *S. aureus* на среде с добавлением

наночастиц серебра, стабилизированных природным полимером – карбоксиметилцеллюлозой (рис. 2). Использование наночастиц Ag/СМС в концентрациях 0,5–3% приводило к полному отсутствию роста всех исследуемых штаммов, при использовании остальных рабочих концентраций показатели КОЕ были достоверно ниже контрольных значений и снижались на 72,9–97,8%.

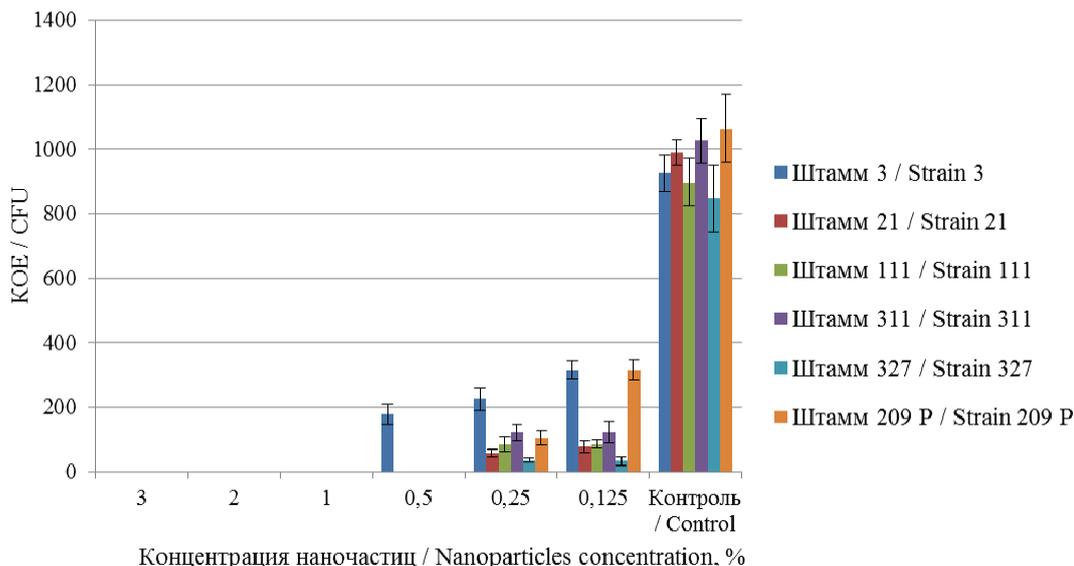


Рис. 1. Влияние наночастиц Ag/PVA/W 500 на количественные показатели (КОЕ/чашка) штаммов *S. aureus* ($M \pm m$; $\chi^2 = 12,89$; $p \leq 0,05$)

Рис. 1. Effect of Ag/PVA/W 500 Nanoparticles on CFU / Petri Dish of *S. aureus* Strains ($M \pm m$; $\chi^2 = 12,89$; $p \leq 0,05$) (color online)

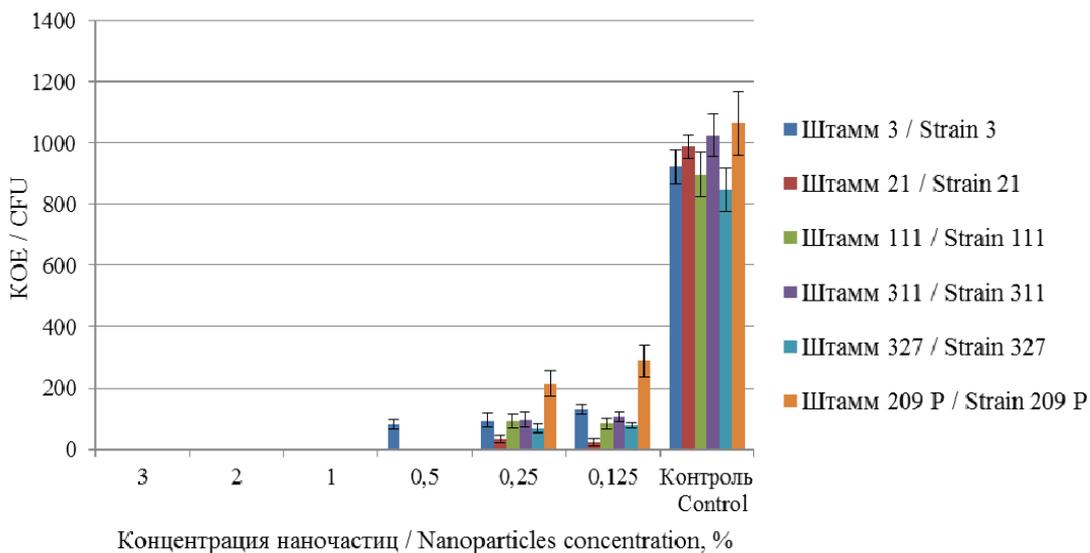


Рис. 2. Влияние наночастиц Ag/CMC/W 500 на количественные показатели (КОЕ/чашка) штаммов *S. aureus* ($M \pm m$; $\chi^2 = 12,00$; $p \leq 0,05$)

Рис. 2. Effect of Ag/CMC/W 500 Nanoparticles on CFU / Petri Dish of *S. aureus* Strains ($M \pm m$; $\chi^2 = 12,00$; $p \leq 0,05$) (color online)



Наночастицы серебра, стабилизированные олеатом натрия, характеризовались низким уровнем антимикробной активности, а наибольшая чувствительность к их действию установлена для стандартного штамма *S. aureus* 209 P и клинических штаммов *S. aureus* № 311 и 327. Полное отсутствие роста колоний на-

блюдалось только при концентрации наночастиц 3%. Остальные рабочие разведения препарата приводили к снижению показателей КОЕ на 27–93,9% (рис. 3). При действии препарата в диапазоне концентраций 0,125–0,5% показатели КОЕ достоверно не отличались от контрольных значений.

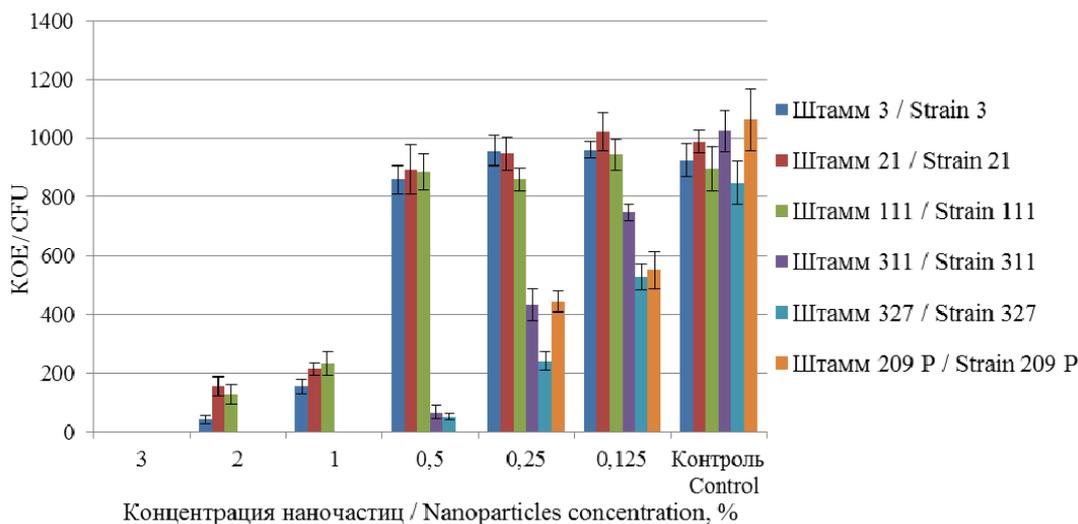


Рис. 3. Влияние наночастиц Ag/OleNa/W 500 на количественные показатели (КОЕ/чашка) штаммов *S. aureus* ($M \pm m$; $\chi^2 = 17,62$; $p \leq 0,05$)

Рис. 3. Effect of Ag/OleNa/W 500 Nanoparticles on CFU / Petri Dish of *S. aureus* Strains ($M \pm m$; $\chi^2 = 17,62$; $p \leq 0,05$) (color online)

Высокая чувствительность всех исследованных штаммов *S. aureus* установлена при действии наночастиц серебра, стабилизированных додецилсульфатом натрия. Наибольшая чувствительность к Ag/SDS выявлена для стан-

дартного штамма *S. aureus* 209 P и клинического штамма *S. aureus* № 21, на которые все рабочие разведения препарата оказывали сильное антимикробное действие (рис. 4). В отношении клинических штаммов *S. aureus* № 3, 111, 311

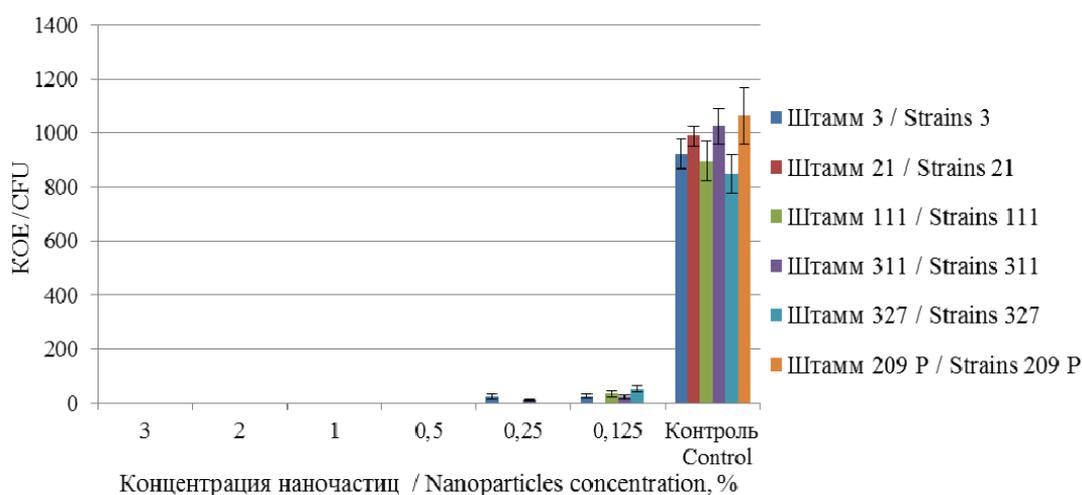


Рис. 4. Влияние наночастиц Ag/SDS/W 500 на количественные показатели (КОЕ/чашка) штаммов *S. aureus* ($M \pm m$; $\chi^2 = 2,23$; $p \leq 0,05$)

Рис. 4. Effect of Ag/SDS/W 500 Nanoparticles on CFU / Petri Dish of *S. aureus* Strains ($M \pm m$; $\chi^2 = 2,23$; $p \leq 0,05$) (color online)



и 327 низкие концентрации рабочих разведений оказывали слабое антибактериальное действие, на питательных средах отмечался рост стафилококков в виде единичных колоний, а показатели КОЕ снижались на 93,6–98,8% по сравнению с контролем.

Высокой эффективностью действия характеризовались наночастицы серебра, стабилизи-

рованные полиазолидинаммонием, модифицированным гидрат-ионами йода (рис. 5). Полное отсутствие роста всех исследуемых штаммов наблюдалось при использовании наночастиц Ag/PG-m в диапазоне концентраций 0,5–3%, а более низкие концентрации способствовали снижению показателей КОЕ на 80,1–99% по сравнению с контрольными значениями.

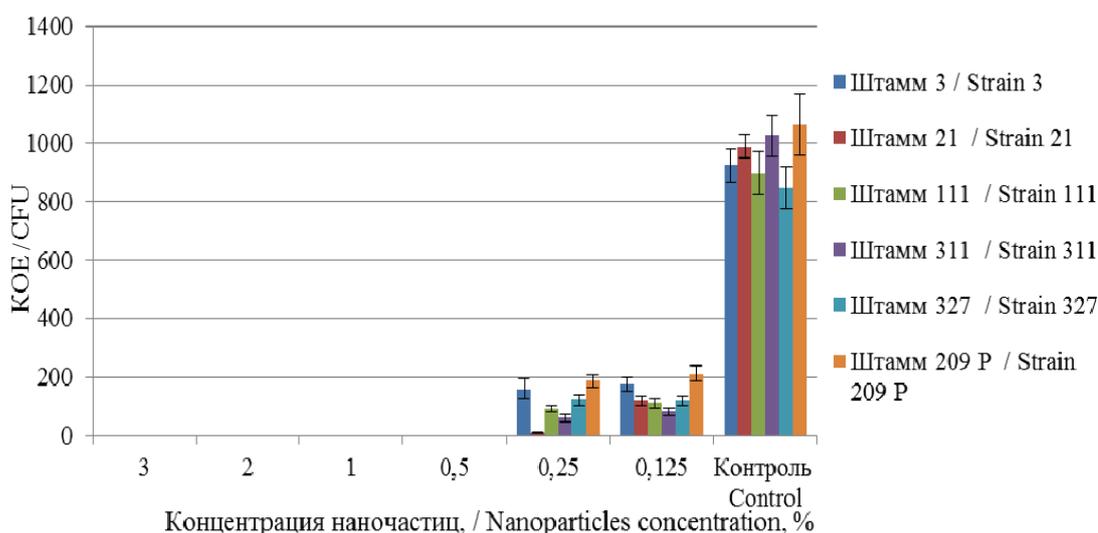


Рис. 5. Влияние наночастиц Ag/PG-m/W 500 на количественные показатели (КОЕ/чашка) штаммов *S. aureus* ($M \pm m$; $\chi^2 = 8,56$; $p \leq 0,05$)

Рис. 5. Effect of Ag/PG-m/W 500 Nanoparticles on CFU / Petri Dish of *S. aureus* Strains ($M \pm m$; $\chi^2 = 8,56$; $p \leq 0,05$) (color online)

Полученные результаты показали, что наночастицы серебра характеризуются антимикробной активностью в отношении стандартных и клинических штаммов *S. aureus*, которая носит дозозависимый характер и зависит от используемого стабилизатора. Важно отметить, что при производстве препаратов, содержащих наночастицы металлов, использование стабилизаторов является его неотъемлемой частью, поскольку покрытие полимерным соединением поверхности наночастиц препятствует их слипанию и способствует сохранению их величины в наноразмерном диапазоне. Низкий уровень антимикробной активности Ag/OleNa, вероятно, связан с низкой стабилизирующей эффективностью олеата натрия, поскольку оценка гидродинамического размера и динамика агрегации наночастиц показали высокую скорость этого процесса [17].

Чувствительность исследуемых штаммов *S. aureus* к действию наночастиц серебра, стабилизированных додецилсульфатом натрия, связана с высокой токсичностью стабилизатора, которая была ранее установлена для него в от-

ношении биотест-объектов и культуры клеток дермальных фибробластов человека [17–19].

Для других полимеров, используемых в качестве стабилизаторов наночастиц, ранее был установлен низкий уровень токсичности [17–19].

Таким образом, оценка антимикробного действия наночастиц серебра, стабилизированных натуральными и синтетическими полимерами, позволила установить, что наиболее перспективными для дальнейших исследований являются наночастицы серебра, стабилизированные полиазолидинаммонием, модифицированным гидрат-ионами йода. Для данного препарата показан высокий уровень антибактериальной активности в отношении стандартного и клинических штаммов *S. aureus* и низкий уровень токсичности, что позволяет рекомендовать его в качестве эффективного и безопасного антимикробного компонента при разработке антисептических средств для профилактической обработки кожных покровов и лечения гнойно-инфекционных поражений кожи, вызванных чувствительными микроорганизмами.



Список литературы

1. Сидоренко С. В., Агапова Е. Д., Александрова И. А. Перекрестная и ассоциированная антибиотикорезистентность грамотрицательных бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, устойчивых к цефалоспорином 3 поколения // Антибиотики и химиотерапия. 2008. Т. 53, № 1–2. С. 3–10.
2. Страчунский Л. С., Белькова Ю. А., Дехнич А. В. Внебольничные MRSA – новая проблема антибиотикорезистентности // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2005. Т. 7, № 1. С. 32–46.
3. Bell B. G., Schellevis F., Stobberingh E., Goossens H., Pringle M. A systematic review and meta-analysis of the effects of antibiotic consumption on antibiotic resistance // BMC Infectious Diseases. 2014. Vol. 13. P. 2–25.
4. ВОЗ. Устойчивость к антибиотикам – серьезная угроза общественному здравоохранению : выпуск новостей // ВОЗ. 2014. 30 апреля. URL: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/amr-report/ru/>
5. Панин А. Н. Проблема резистентности к антибиотикам возбудителей болезней, общих для человека и животных // Ветеринария и зоотехния: ветеринария. 2017. № 5. С. 18–24.
6. Larson E. Community Factors in the Development of Antibiotic Resistance // Annual Review of Public Health. 2007. Vol. 28. P. 435–447.
7. Weese J. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* : an emerging pathogen in small animals // J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 2005. Vol. 41. P. 150–157.
8. Захаров А. В., Хохлов А. Л., Эргешов А. Э. Наночастицы серебра в решении проблемы лекарственной устойчивости возбудителя туберкулеза // Архив внутренней медицины. 2017. № 3. С. 188–199.
9. Мосин О. В. Бактерицидные свойства наночастиц коллоидного серебра // Нанотехнологии. Экология. Производство. 2013. № 6. С. 54–59.
10. Честнова Т. В., Серегина Н. В., Хромюшин В. А. Обзор биофизических особенностей микробной адгезии // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 4. С. 175–178.
11. Захаров А. В., Хохлов А. Л. Исследование активности наночастиц серебра *in vitro* и *in vivo* в отношении лекарственно-устойчивых штаммов *Mycobacterium tuberculosis* // Вестник ВолгГМУ. 2018. Т. 3, № 67. С. 43–46.
12. Randall C. P., Oyama L. B., Bostock J. M., Chopra I., O'Neill A. J. The silver cation (Ag⁺): antistaphylococcal activity, mode of action and resistance studies // J. Antimicrob. Chemother. 2013. № 68. P. 131–138.
13. Шановал О. Г., Нечаева О. В., Шульгина Т. А., Пучиньян Д. М., Шуриалова Н. Ф. Влияние металлических и углеродных наноструктур на адгезивные свойства грамотрицательных бактерий // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1379.
14. Chen X., Schluesener H. J. Nanosilver : a nanoparticle in medical application // Toxicol. Lett. 2008. № 176. P. 359–362.
15. Prabhu S., Poulose E. K. Silver nanoparticles : mechanism of antimicrobial action, synthesis , medical applications , and toxicity effects // International Nano Letters. 2012. Vol. 2. P. 32. DOI: 10.1186/2228-5326-2-32
16. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам // МУК 4.2.1890-04. М. : Изд. отд. Федерального центра Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. 91 с.
17. Шульгина Т. А., Верховский П. А., Нечаева О. В., Торгашова А. С. Изучение токсического воздействия наноразмерных частиц серебра на культуру клеток дермальных фибробластов человека // Нанотехнологии в современных материалах технологического и биомедицинского назначения : материалы науч.-практ. семинара. Севастополь : Изд-во Севастоп. гос. ун-та, 2018. С. 35–38.
18. Цанок Д. А., Нечаева О. В. Оценка токсичности наночастиц серебра методом биоиндикации // Экология городской среды : история, современность и перспективы : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Астрахань : Астраханский университет, 2018. С. 67–69.
19. Верховский П. А., Шульгина Т. А., Нечаева О. В., Торгашова А. С. Цитотоксическое воздействие наночастиц серебра на культуру клеток NHDF // Проблемы медицинской микологии. 2018. Т. 20, № 2. С. 58.

Образец для цитирования:

Шульгина Т. А., Глинская Е. В., Нечаева О. В., Торгашова А. С., Zubova K. V. Оценка влияния наночастиц серебра, стабилизированных полимерными соединениями, на выживаемость штаммов *Staphylococcus aureus* // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 331–337. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-331-337>

Assessment of the Impact of the Nanoparticles of Silver Stabilized by Polymeric Compounds on Survival of Strains of *Staphylococcus aureus*

T. A. Shulgina, E. V. Glinskaya, O. V. Nechaeva, A. S. Torgashova, K. V. Zubova

Tatiana A. Shulgina, <https://orcid.org/0000-0003-3945-5910>, Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of the Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 148 Chernyshevsky St., Saratov 410002, Russia, tshulgina2012@yandex.ru

Elena V. Glinskaya, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, elenavg-2007@yandex.ru

Olga V. Nechaeva, <https://orcid.org/0000-0003-3331-1051>, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Polytechnicheskaya St., Saratov 410054, Russia, olgav.nechaeva@rambler.ru

Anna S. Torgashova, <https://orcid.org/0000-0003-0996-6840>, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 112 Bolshaya Kazachia St., Saratov 410012, Russia, gekon_toki@mail.ru



Ksenia V. Zubova, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, zubovaksushechka@mail.ru

The antimicrobial activity of the nanoparticles of silver stabilized by various natural and synthetic polymeric compounds concerning reference and clinical strains of *Staphylococcus aureus* is studied. It is established that the greatest effectiveness was displayed by the silver nanoparticles stabilized by polyvinyl alcohol, carboxymethylcellulose and poliazolidinammonium, the modified iodine hydrate ions. The low sensitivity of the studied strains to action of the nanoparticles stabilized by an oleate of *S. aureus* sodium probably is connected by its low stabilizing ability and high speed of aggregation of nanoparticles. The high level of toxicity of dodecyl sulphate sodium led to an increase in its antimicrobial activity. The conducted researches allowed us to establish that the most effective antimicrobial components when developing antiseptic and disinfectants are the silver nanoparticles stabilized poliazolidinammonium, modified iodine hydrate ions.

Keywords: silver nanoparticles, stabilizers, antimicrobial activity, *Staphylococcus aureus*.

References

- Sidorenko S. V., Agapova E. D., Aleksandrova I. A. Cross and associated antibiotic resistance gram negative bacteria of the Enterobacteriaceae family resistant to cephalosporin 3 generations. *Antibiotics and Chemotherapy*, 2008, vol. 53, no. 1–2, pp. 3–10 (in Russian).
- Strachunskii L. S., Belkova Iu. A., Dekhnich A. V. Community-Based MRSA – a New Antibiotic Resistance Problem. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*, 2005, vol. 7, no. 1, pp. 32–46 (in Russian).
- Bell B. G., Schellevis F., Stobberingh E., Goossens H., Pringle M. A systematic review and meta-analysis of the effects of antibiotic consumption on antibiotic resistance. *BMC Infectious Diseases*, 2014, vol. 13, pp. 2–25.
- VOZ. Ustoychivost' k antibiotikam – ser'eznaya ugroza obshchestvennomu zdoravohraneniyu: vypusk novostey [WHO. Antibiotic resistance is a serious public health threat: news release]. *VOZ*, 2014, 30 aprelya [WHO, 2014, 30 April]. Available at: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/amr-report/ru/> (in Russian).
- Panin A. N. The problem of antibiotic resistance of pathogens common to humans and animals. *Veterinary Science and Zootechnics: Veterinary Science*, 2017, no. 5, pp. 18–24 (in Russian).
- Larson E. Community Factors in the Development of Antibiotic Resistance. *Annual Review of Public Health*, 2007, vol. 28, pp. 435–447.
- Weese J. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: an emerging pathogen in small animals. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 2005, vol. 41, pp. 150–157.
- Zakharov A. V., Khokhlov A. L., Ergeshov A. E. Silver nanoparticles in solving the problem of drug resistance of the causative agent of tuberculosis. *Archive of Internal Medicine*, 2017, no. 3, pp. 188–199 (in Russian).
- Mosin O. V. Bactericidal properties of colloidal silver nanoparticles. *Nanotechnology. Ecology. Production*, 2013, no. 6, pp. 54–59 (in Russian).
- Chestnova T. V., Seregina N. V., Khromushin V. A. A review of the biophysical features of microbial adhesion. *Bulletin of New Medical Technologies*, 2008, vol. 15, no. 4, pp. 175–178 (in Russian).
- Zakharov A. V., Khokhlov A. L. Investigation of the activity of silver nanoparticles *in vitro* and *in vivo* in relation to drug-resistant strains of *Mycobacterium tuberculosis*. *Journal of VolgSMU*, 2018, vol. 3, no. 67, pp. 43–46 (in Russian).
- Randall C. P., Oyama L. B., Bostock J. M., Chopra I., O'Neill A. J. The silver cation (Ag⁺): antistaphylococcal activity, mode of action and resistance studies. *J. Antimicrob. Chemother.*, 2013, no. 68, pp. 131–138.
- Shapoval O. G., Nechaeva O. V., Shulgina T. A., Puchinian D. M., Shurshalova N. F. The effect of metal and carbon nanostructures on the adhesive properties of gram-negative bacteria. *Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 6, p. 1379 (in Russian).
- Chen X., Schluesener H. J. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicol. Lett.*, 2008, no. 176, pp. 359–362.
- Prabhu S., Poulouse E. K. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters*, 2012, vol. 2, pp. 32. DOI: 10.1186/2228-5326-2-32
- Opređenje chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antibakterial'nyim preparatam. MUK 4.2.1890-04 [Determination of the sensitivity of microorganisms to antibacterial drugs. MUK 4.2.1890-04]. Moscow, Izdatel'skiy otdel Federal'nogo centra Gossanepidnadzora Minzdrava RF, 2004. 91 p. (in Russian).
- Shulgina T. A., Verkhovskii R. A., Nechaeva O. V., Torgashova A. S. Study of the toxic effects of nanoscale silver particles on human dermal fibroblast cell culture. In: *Nanotekhnologii v sovremennykh materialakh tekhnologicheskogo i biomeditsinskogo naznacheniya* [Nanotechnology in modern materials for technological and biomedical purposes. Coll. materials of a sci. and pract. seminar]. Sevastopol, Izd-vo Sevastopol. gos. un-ta, 2018, pp. 35–38 (in Russian).
- Tsapok D. A., Nechaeva O. V. Toxicity assessment of silver nanoparticles by bioindication. In: *Ekologiya gorodskoy sredy: istoriya, sovremennost' i perspektivy* [Ecology of the urban environment: history, modernity and prospects. Coll. of articles of the All-Russian sci. pract. conf. with intern. participation]. Astrakhan, Astrakhanskiy un-t, 2018, pp. 67–69 (in Russian).
- Verkhovskii R. A., Shulgina T. A., Nechaeva O. V., Torgashova A. S. The cytotoxic effect of silver nanoparticles on the culture of NHDF cells. *Problems of Medical Mycology*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 58 (in Russian).

Cite this article as:

Shulgina T. A., Glinskaya E. V., Nechaeva O. V., Torgashova A. S., Zubova K. V. Assessment of the Impact of the Nanoparticles of Silver Stabilized by Polymeric Compounds on Survival of Strains of *Staphylococcus aureus*. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 3, pp. 331–337 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-331-337>