



УДК 619:615.45:546.57

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-245-3-46-51

А.Д. Сумарокова, Л.Н. Стацевич, В.Н. Афонюшкин

A.D. Sumarokova, L.N. Statsevich, V.N. Afonyushkin

АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ СЕРЕБРА

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SILVER-BASED DRUGS

Ключевые слова: антибактериальная активность, минимальная ингибирующая концентрация, наносеребро, органическое серебро, Арговит, Аргосил, микроорганизмы, антибиотикорезистентность.

В связи с быстрорастущей полирезистентностью патогенных бактерий особое внимание уделяется созданию новых эффективных лекарственных препаратов. Препараты наносеребра уже давно изучают и применяют в качестве противомикробных, а также противовирусных средств. Была изучена минимальная ингибирующая концентрация (МИК) у препаратов наносеребра (серия Арговит) и органического серебра (Аргосил) в отношении бактериальных штаммов рода *Escherichia*, *Stenotrophomonas*, *Raoultella*, *Aerococcus*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Lactococcus* и *Rothia*, полученных из молока коров, больных маститом. Работа проведена в лаборатории ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ в 2024 г. Для определения минимальной подавляющей концентрации препаратов использовали метод 2-кратных серийных разведений в жидкой питательной среде. МИК считали как наименьшую концентрацию препарата, при которой в лунке не наблюдался осадок, и не происходило изменение цвета резазурина через 1,5 ч. В результате исследования обнаружено, что среднее значение МИК относительно всех микроорганизмов ниже всего у Арговита-Мини – 34 ± 4 мкг/мл, средний показатель минимальной ингибирующей концентрации Арговит-Макси и Арговит С – $47 \pm 4,83$ и $47,75 \pm 7,44$ мкг/мл, самый высокий средний показатель МИК отмечался у Аргосила – $94,48 \pm 25,02$ мкг/мл. Препараты наносеребра обладают большей противомикробной активностью в отношении грамотрицательных бактерий, что связано с разницей в структуре, толщине и составе клеток грамотрицательных и грамположительных бактерий. Органическое серебро проявляет одинаковую активность в отноше-

нии грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, но при этом имеет большее среднее значение МИК, чем препараты серии Арговит.

Keywords: antibacterial activity, minimal inhibitory concentration, nanosilver, organic silver, Argovit, Argosil, microorganisms, antibiotic resistance.

Due to rapidly growing polyresistance of pathogenic bacteria, special attention is paid to the creation of new effective medicines. Silver-based drugs have long been studied and used as antimicrobial and antiviral drugs. The minimum inhibitory concentration (MIC) of nanosilver (Argovit series) and organic silver (Argosil) products was studied against bacterial strains of the genus *Escherichia*, *Stenotrophomonas*, *Raoultella*, *Aerococcus*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Lactococcus* and *Rothia* obtained from the milk of cows with mastitis. The work was done in a laboratory of the Novosibirsk State Agricultural University in 2024. To determine the minimum inhibitory concentration of the drugs, the method of two-fold serial dilutions in a liquid nutrient medium was used. The MIC was considered as the lowest concentration of the drug at which no sediment was observed in the cells on the plate and no change in color of resazurin occurred after 1.5 hours. It was found that the average MIC value relative to all microorganisms was lowest in Argovit-Mini – 34 ± 4 $\mu\text{g mL}^{-1}$; the average minimum inhibitory concentration of Argovit-Maksi and Argovit C – 47 ± 4.83 and 47.75 ± 7.44 $\mu\text{g mL}^{-1}$; the highest average MIC was observed for Argosil - 94.48 ± 25.02 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Nanosilver preparations have greater antimicrobial activity against gram-negative bacteria; this is associated with the difference in the structure, thickness and composition of the cells of gram-negative and gram-positive bacteria. Organic silver exhibits equal activity against gram-positive and gram-negative microorganisms, but has a higher average MIC value than the Argovit series of preparations.

Сумарокова Анастасия Дмитриевна, аспирант, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: stasaaan@gmail.com.

Стацевич Людмила Николаевна, к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: lydmilastas0@gmail.com.

Афонюшкин Василий Николаевич, к.б.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: lisocim@mail.ru.

Sumarokova Anastasiya Dmitrievna, post-graduate student, Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: stasaaan@gmail.com

Statsevich Lyudmila Nikolaevna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: lydmilastas0@gmail.com

Afonyushkin Vasiliy Nikolaevich, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: lisocim@mail.ru.

Введение

Прошло почти сто лет с момента открытия первого антибиотика. К сожалению, из-за широкого использования этих соединений в настоящее время микроорганизмы с множественной лекарственной устойчивостью являются глобальной проблемой [1]. Кишечная палочка – основная причина смерти, связанная с устойчивостью к противомикробным препаратам в 2019 г., за ней следуют акинетобактерия Баумана (*Acinetobacter baumannii*), клебсиелла пневмонии (*Klebsiella pneumoniae*), синегнойная палочка (*Pseudomonas aeruginosa*), золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) и пневмококк (*Streptococcus pneumoniae*). Эти патогены стали причиной больше девяти тысяч смертей, напрямую связанных с устойчивостью к противомикробным препаратам во всем мире [2].

Если скорость развития устойчивости к противомикробным препаратам у бактерий продолжит расти, предполагается, что уже через четверть века уровень смертности, вызванной резистентными бактериальными инфекциями, превысит уровень смертности, вызванной раком [3].

Из-за высокого спроса на продукты животного происхождения использование антимикробных препаратов в ветеринарной практике на 73-100% выше, чем в медицинской [2]. При этом уже известно, что молоку и молочным продуктам отведена значительная роль в распространении генов устойчивости к антибиотикам [4]. Особо значима антибиотикорезистентность в птицеводстве, где часты случаи стафилококкозов с устойчивостью к антибиотикам макролидного, тетрациклинового и полипептидного ряда, с промежуточной чувствительностью к полимиксину и некоторым антибиотикам цефалоспоринового ряда [5, 6].

Серьезная угроза человечеству – формирование поли- и панрезистентных штаммов бак-

терий к антимикробным препаратам. При этом отсутствие в последние годы принципиально новых классов антибиотиков поднимает необходимость поиска других подходов к профилактике и лечению бактериальных инфекций животных [7].

Использование наночастиц серебра (НЧС) для решения разных биомедицинских и ветеринарных задач, таких как диагностика и лечение различных заболеваний, на сегодняшний день является одним из приоритетных научных направлений [8]. НЧС известны своим широким спектром антимикробного действия и противораковым эффектом [9]. Замена ими широкоиспользуемых антибиотиков напрямую отражается на здоровье населения, так как они сводят к минимуму проблему лекарственной устойчивости как в медицине, так и в ветеринарии, а также проблему остаточных следов лекарств в молоке и мясе [10].

Целью исследования было изучить и представить данные по антибактериальной активности препаратов нано- и органического серебра в отношении грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов.

Объекты и методы

Исследования были проведены в лаборатории ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ.

В работе использовались препараты серебра:

1. Кластерное серебро серии Арговит с концентрацией действующего вещества 120 мкг/мл (0,01%-ный раствор): Арговит-Мини, Арговит-Макси и Арговит С.

2. Водный раствор органического серебра Аргосил с концентрацией действующего вещества 1000 и 100 мкг/мл (0,1%-ный и 0,01%-ный растворы).

Бактериальные штаммы рода *Escherichia*, *Stenotrophomonas*, *Raoultella*, *Aerococcus*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Lactococcus* и

Rothia были получены из молока коров, больных маститом. Для работы использовали суспензию суточных культур, выращенных на стандартных питательных средах, со стандартной мутностью McFarland 2 Ед. (~6,0×10⁸ КОЕ/мл).

Для оценки спектра антибактериального действия препаратов на патогены определяли минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) для препарата по отношению к используемым тест-штаммам: методом двукратных серийных разведений в жидкой питательной среде (табл.).

В одну лунку 96-лунковой плашки вносили по 100 мкл микроорганизмов заранее смешанных с питательной средой TSB (2 MFU), и 100 мкл исследуемого препарата в соответствующем разведении. Контроль – без внесения препарата. Плашки инкубировали в термостате при температуре 37°С в течение суток. Результат учитывали визуально (по осадку на дне) и с добавлением резазурина 5 мкл на лунку для определения количества жизнеспособных микроорганизмов в лунках с внешне прозрачной

средой и отсутствием осадка. Водорастворимый краситель резазурин при попадании в живые клетки благодаря активности клеточных окислительно-восстановительных ферментов принимает электроны от пиридиннуклеотидов, флавиновых коферментов и цитохромов, а затем восстанавливается до резорурфина. При этом происходит изменение цвета до яркого флуоресцентного красного от изначального синего индиго. Резорурфиновый продукт, который жизнеспособные клетки непрерывно преобразовывают из резазурина, розовый или красно-фиолетовый [11]. Наименьшую концентрацию препарата, при которой в лунке не наблюдался осадок, и не происходило изменение цвета резазурина через 1,5 ч, считали как МИК.

Опыты проводили дважды. По методу Манна-Уитни оценивали статистическую значимость различий, корреляцию параметров анализировали по Спирмену, также определяли средние значения и стандартную ошибку средней (M±m).

Результаты исследований и их обсуждение

Таблица

Минимальная ингибирующая концентрация препаратов серебра, мкг/мл

Культура		Препарат серебра			
		Арговит-Мини	Арговит-Макси	Арговит С*	Аргосил**
Грамотрицательные бактерии	<i>Escherichia coli/Shigella</i>	30±0	45±15,5	30±0	250±0
	<i>Escherichia fergusonii</i>	30±0	30±0	15±0	50±0
	<i>Raoultella ornithinolytica</i>	15±0	15±0	15±0	50±0
	<i>Stenotrophomonas geniculata</i>	30±0	45±15,5	30±0	20,3±4,7
Грамположительные бактерии	<i>Aerococcus urinaeequi</i>	15±0	15±0	15±0	50±0
	<i>Staphylococcus borealis/S. Taiwanensis</i>	30±0	60±0	60±0	375±126,27
	<i>Staphylococcus pasteurii</i>	60±0	60±0	60±0	31,25±0
	<i>Staphylococcus warneri</i>	60±0	60±0	60±0	100±0
	<i>Staphylococcus equorum</i>	30±0	60±0	60±0	50±0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	45±15,5	60±0	60±0	125±0
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	30±0	60±0	60±0	15,6±0
	<i>Corynebacterium camporealensis</i>	15±0	15±0	11,25±3,79	100±0
	<i>Corynebacterium glutamicum</i>	30±0	60±0	60±0	50±0
	<i>Lactococcus garvieae</i>	60±0	60±0	120±0	50±0
<i>Rothia kristinae</i>	30±0	60±0	60±0	100±0	
Среднее значение по всем микроорганизмам		34±4	47±4,83	47,75±7,44	94,48 ± 25,02

Примечание. *Разница статистически значима (p≤0,05) в сравнении с показателями Арговит-Мини; **разница статистически значима (p≤0,01) в сравнении с показателями Арговит-Мини.

Минимальная ингибирующая концентрация к кишечной палочке (*E. coli/shigella*, *E. fergusonii*) значительно ниже у препаратов кластерного серебра – 15-45 мкг/мл против 250 и 50 мкг/мл у Аргосила.

Несмотря на то, что МИК к бактериям рода *Stenotrophomonas geniculata* ниже в 1,5 раза у Аргосила, препаратам группы Арговит нужна меньшая концентрация для борьбы с грамотрицательными бактериями. Особенно Арговиту С, у которого среднее значение МИК для Гр- микроорганизмов $22,5 \pm 4,3$ мкг/мл, что в 4 раза ниже среднего МИК Аргосила ($92,58 \pm 52,94$ мкг/мл).

Арговит-Макси и Арговит-С имеют одинаковое среднее значение минимальной подавляющей концентрации по отношению к бактериям рода *Staphylococcus* – 60 ± 0 мкг/мл. МИК Арговит-Мини почти в 1,5 раза ниже – $42,5 \pm 6,02$ мкг/мл. Для борьбы с бактериями этого же рода органическое серебро должно использоваться в концентрациях гораздо выше – $116,14 \pm 54,47$ мкг/мл, несмотря на то, что МИК к *S. epidermidis* и *S. pasteurii* у Аргосила ниже, чем у препаратов наносеребра.

По отношению к бактериям рода *Corynebacterium* наносеребро имеет большую активность. МИК к *C. glutamicum* у препаратов серебра примерно одинаковы (60 и 50 мкг/мл), кроме Арговит-Мини – 30 мкг/мл. При этом к *C. camporealensis* наносеребро имеет МИК почти в 7 раз меньше, чем концентрация Аргосила.

Препараты группы Арговит обладают большей активностью в отношении микроорганизмов рода *Aerococcus*, *Raoultella* и *Rothia*. Для борьбы с молочными стрептококками (*Lactococcus garvieae*) показатель концентрации незначительно ниже у Аргосила.

Наносеребро имеет меньшее в 2 раза среднее значение МИК в отношении грамположительных бактерий, чем органическое серебро. При этом препараты серии Арговит для борьбы с Гр- бактериями нужно использовать в меньших концентрациях, чем для Гр+ бактерий.

Разница организации пептидогликанового слоя, толщина и состав клеточной стенки – параметры, влияющие на антимикробный потенциал ионов серебра. Грамотрицательные бактерии содержат во внешнем слое клеточной стенки уникальный компонент – липополисахариды, которые способствуют сохранению структурной целостности мембраны клетки [12].

Известно, что отрицательный заряд способствует адгезии серебра, а липополисахариды и пептидогликан, входящие в состав клеточной стенки бактерии, заряжены отрицательно. При этом грамположительные микроорганизмы содержат большой клеточный слой пептидогликана, чем грамотрицательные [13].

Из-за различий структуры, толщины и состава клеток Гр- и Гр+ микроорганизмов наночастицы серебра обладают более выраженными ингибирующими свойствами в отношении кишечной палочки (*E. coli*), чем к золотистому стафилококку (*S. aureus*). Стафилококк обладает толстым клеточным слоем пептидогликана, что препятствует воздействию ионов серебра и вызывает сравнительную устойчивость. При этом применение наночастиц серебра против полирезистентных изолятов *S. aureus* по-прежнему эффективно [13].

Таким образом, препараты наносеребра обладают большей противомикробной активностью в отношении грамотрицательных бактерий. К Аргосилу чувствительны как грамположительные, так и на грамотрицательные микроорганизмы, но препарат должен использоваться в больших концентрациях, чем препараты Арговита. Среднее значение МИК относительно всех микроорганизмов у Арговита-Мини ниже, чем у остальных исследуемых препаратов (34 ± 4 мкг/мл), среднее значение минимальной ингибирующей концентрации Арговит-Макси и Арговит С примерно одинаковы ($47 \pm 4,83$ и $47,75 \pm 7,44$ мкг/мл), а средний показатель МИК у Аргосила почти в два раза выше ($94,48 \pm 25,02$ мкг/мл).

Статистически значимо отмечались высокая прямая зависимость между значениями МИК Арговит-Мини и Арговит-Макси ($r_s = 0,804$) и заметная прямая зависимость между Арговит-Макси и Арговит С ($r_s = 0,693$). Корреляционная зависимость между препаратами наносеребра и Аргосилом (органическое серебро) слабая, особенно в отношении Арговит-Мини ($r_s = 0,294$) и Арговит С ($r_s = 0,202$), а также между показателями МИК Арговит-Мини и Арговит-Макси ($p \leq 0,05$), Арговит-Мини и значениями Аргосила ($p \leq 0,01$).

Статистические данные подтверждают различие в механизмах действия у кластерного наносеребра, которое не всасывается, и орга-

нического (мономолекулярного) серебра. При этом отмечается статистически значимая разница в величине оказываемого эффекта Арговит-Мини и Арговит-Макси на одни и те же штаммы микроорганизмов.

Выводы

1. Препараты серии Арговит обладают большей противомикробной активностью в отношении грамотрицательных бактерий.

2. Органическое серебро проявляет одинаковую активность в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, но при этом имеет большее среднее значение минимальной ингибирующей концентрации, чем препараты серии Арговит.

3. Наименьший средний показатель МИК относительно всех микроорганизмов был отмечен у препарата «Арговит-Мини» – 34 ± 4 мкг/мл.

Заключение

Таким образом, была изучена и представлена минимальная ингибирующая концентрация наносеребра и органического серебра. Наиболее эффективной антибактериальной активностью обладает препарат «Арговит-Мини». Несмотря на одинаковую противомикробную активность органического серебра относительно Gr- и Gr+ микроорганизмов, Аргосил должен использоваться в концентрациях 2-3 раза больших, чем наносеребро.

Библиографический список

1. Mohr K. I. (2016). History of Antibiotics Research. *Current topics in microbiology and immunology*, 398, 237–272. https://doi.org/10.1007/82_2016_499.

2. Antimicrobial Resistance Collaborators (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet (London, England)*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0).

3. EMA. Categorisation of Antibiotics Used in Animals Promotes Responsible Use to Protect Public and Animal Health. – URL: <https://www.ema.europa.eu/en/news/categorisation-antibiotics-used-animals-promotes-responsible-use-protect-public-animal-health> (Дата обращения: 22.11.2024).

4. Пантелеева, А. В. Молочные продукты как резервуар генов устойчивости к антибиотикам / А. В. Пантелеева. – Текст: непосредственный // Бюллетень Северного государственного

медицинского университета. – Архангельск, 2024. – Т. 51, № 1. – С. 126.

5. Видовая идентификация и антибиотикорезистентность бактерий рода *Staphylococcus* sp., выделенных от сельскохозяйственной птицы / О. Б. Литвинов, В. Е. Брылина, Е. А. Садовая [и др.]. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: Сборник трудов научно-практической конференции, Москва, 08 ноября 2022 года / под общей редакцией С.В. Позябина, Л.А. Гнездиловой. – Москва: Сельскохозяйственные технологии, 2022. – С. 304-305.

6. Распространение антибиотикорезистентных изолятов *S. aureus* в молочном животноводстве / О. В. Соколова, Н. А. Безбородова, А. С. Кривоногова, В. Д. Зубарева. – Текст: непосредственный // Пермский аграрный вестник. – 2023. – № 3 (43). – С. 105-112. – DOI 10.47737/2307-2873_2023_43_105.

7. Антибиотикорезистентность. Вызов современности / А. Д. Даудова, Ю. З. Демина, Г. Н. Генатуллина [и др.]. – Текст: электронный // Антибиотики и Химиотерапия. – 2023. – Т. 68, №. 3-4. – С. 66-75. – URL: <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2023-68-3-4-66-75>.

8. Чернявская, Я. В. Механизмы действия наночастиц на организмы / Я. В. Чернявская, Т. П. Денисова. – Текст: непосредственный // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: сборник материалов XXXI Российской молодежной научной конференции. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2021. – С. 120-120.

9. Xu, L., Wang, Y. Y., Huang, J., et al. (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*, 10 (20), 8996–9031. <https://doi.org/10.7150/thno.45413>.

10. El-Sayed, A., Kamel, M. (2020). Advanced applications of nanotechnology in veterinary medicine. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27 (16), 19073–19086. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3913-y>.

11. Выбор оптимального метода детекции жизнеспособности клеточных культур для тестов на пролиферативную активность и цитотоксичность / А. Н. Афанасьева, В. Б. Сапарова, Т. А. Сельменских, И. Е. Макаренко. – Текст: непосредственный // Лабораторные животные

для научных исследований. – 2021. – № 2. – С. 16-24.

12. Dakal, T. C., Kumar, A., Majumdar, R. S., Yadav, V. (2016). Mechanistic Basis of Antimicrobial Actions of Silver Nanoparticles. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1831. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01831>.

13. Шкиль, Н. Н. Механизмы действия наночастиц серебра / Н. Н. Шкиль. – Текст: непосредственный // Вопросы ветеринарной науки и практики: сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов факультета ветеринарной медицины Новосибирского государственного аграрного университета, Новосибирск, 24 марта 2022 года. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2022. – С. 118-121.

References

1. Mohr K. I. (2016). History of Antibiotics Research. *Current topics in microbiology and immunology*, 398, 237–272. https://doi.org/10.1007/82_2016_499.

2. Antimicrobial Resistance Collaborators (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet (London, England)*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0).

3. EMA. Categorisation of Antibiotics Used in Animals Promotes Responsible Use to Protect Public and Animal Health. – URL: <https://www.ema.europa.eu/en/news/categorisation-antibiotics-used-animals-promotes-responsible-use-protect-public-animal-health> (Data obrashcheniia: 22.11.2024).

4. Panteleeva A.V. Molochnye produkty kak rezervuar genov ustoichivosti k antibiotikam // Biulleten Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. – 2024. – Т. 51. – No. 1. – С. 126.

5. Vidovaia identifikatsiia i antibiotikorezistentnost bakterii roda *Staphylococcus* sp., vydelennykh ot selskokhoziaistvennoi ptitsy / O. B. Litvinov, V. E. Brylina, E. A. Sadovaia [i dr.] // Aktualnye problemy veterinarnoi meditsiny, zootekhnii, biotekhnologii i ekspertizy syria i produktov zhivotnogo proiskhozhdeniia: Sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 08 noiabria 2022 goda / pod obshchei redaktsiei

S.V. Poziabina, L.A. Gnezdilovoi. – Moskva: Selskokhoziaistvennye tekhnologii, 2022. – S. 304-305.

6. Rasprostranenie antibiotikorezistentnykh izolatov *S. aureus* v molochnom zhivotnovodstve / O.V. Sokolova, N.A. Bezborodova, A.S. Krivonogova, V.D. Zubareva // Permskii agrarnyi vestnik. – 2023. – No. 3 (43). – S. 105-112. – DOI 10.47737/2307-2873_2023_43_105.

7. Daudova A. D. i dr. Antibiotikorezistentnost. Vyzov sovremennosti // Antibiotiki i Khimioterapiia. – 2023. – Т. 68. – No. 3-4. – С. 66-75. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2023-68-3-4-66-75>.

8. Cherniavskaia Ia.V., Denisova T.P. Mekhanizmy deistviia nanochastits na organizmy // XXXI Rossiiskaia molodezhnaia nauchnaia konferentsiia «Problemy teoreticheskoi i eksperimentalnoi khimii». – Ekaterinburg: Izdatelstvo Uralskogo universiteta, 2021. – С. 120-120.

9. Xu, L., Wang, Y. Y., Huang, J., et al. (2020). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*, 10 (20), 8996–9031. <https://doi.org/10.7150/thno.45413>.

10. El-Sayed, A., Kamel, M. (2020). Advanced applications of nanotechnology in veterinary medicine. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27 (16), 19073–19086. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3913-y>.

11. Afanaseva A.N. i dr. Vybor optimalnogo metoda detektsii zhiznesposobnosti kletochnykh kultur dlia testov na proliferativnuiu aktivnost i tsitotoksichnost // Laboratornye zhivotnye dlia nauchnykh issledovani. – 2021. – No. 2. – С. 16-24.

12. Dakal, T. C., Kumar, A., Majumdar, R. S., Yadav, V. (2016). Mechanistic Basis of Antimicrobial Actions of Silver Nanoparticles. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1831. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01831>.

13. Shkil, N.N. Mekhanizmy deistviia nanochastits serebra // Voprosy veterinarnoi nauki i praktiki: Sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii преподаvatelei, aspirantov, magistrantov i studentov fakulteta veterinarnoi meditsiny Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Novosibirsk, 24 marta 2022 goda. – Novosibirsk: Izdatelskii tsentr NGAU "Zolotoi kolos", 2022. – С. 118-121.

