

Физико-химические и биохимические свойства металлических наночастиц и их применение

Л. И. Золина^{*}, К. О. Грачёва^{**,1}

^{} Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

*^{**} ПенсиКо, Москва, Россия*

Аннотация

Проведен обзор современных представлений о нанобъектах. Рассмотрены различные аспекты свойств наноразмерных частиц и перспективные возможности использования наноматериалов во многих областях науки и техники. Показано, что нанобъекты обладают необычными физическими и химическими свойствами, а также особенностями биологического действия, которое отличается от свойств этого же вещества в сплошной фазе. В наноразмерном состоянии возрастает удельная поверхность и химический потенциал веществ на межфазной границе. Отмечено, что большое внимание уделяется функциональной активности наночастиц серебра с точки зрения придания как бактерицидных, так и бактериостатических свойств различным материалам и изделиям. Применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Наночастицы серебра применяются как биоцидная добавка (в форме модификатора), предназначенная для создания и производства новых материалов, покрытий и других видов продукции с биоцидными свойствами широкого спектра действия. Выбор нанокмозитов серебра для пропитки текстиля обусловлен их значительными и неоспоримыми преимуществами перед всеми существующими антимикробными средствами, поскольку соединения серебра, обладая широким спектром антимикробной активности, во многом лишены недостатков, связанных с проблемой резистентности к ним патогенных микроорганизмов.

Ключевые слова

Наноматериалы, наночастицы серебра, бактерицидные и бактериостатические свойства

Введение. В последние годы интерес к изучению наноразмерных частиц существенно возрос. Это связано с тем, что открылись новые перспективные возможности использования наноматериалов во многих областях науки и техники, в частности, для получения эффективных и

избирательных катализаторов, для создания элементов микроэлектронных и оптических устройств, для синтеза новых материалов. Растворы зольей металлов, преимущественно золота, серебра и металлов платиновой группы, интенсивно изучались в прошедшем столетии. Во всем мире

¹ Для переписки:

Email: kristina.gracheva.94@list.ru

быстрыми темпами развиваются технологии направленного получения и использования наночастиц, преимущественно металлов [1-4].

Свойства наночастиц и их применение

Формы наночастиц многообразны, начиная от фуллеренов, нанотрубок, нанопроводов до квантовых точек и квантовых кораллов. Хорошо известно, что человечество издавна подвергалось воздействию наночастиц. Естественными источниками наночастиц могут быть действующие вулканы, лесные пожары, выветривание горных пород, микрослой органической поверхности [1-3, 5-7]. Наночастицы являются катализаторами для образования крупных кристаллов полезных ископаемых и силикатов. [6-8]. Широко распространены наночастицы и во многих биологических объектах. Например, высокоупорядоченные одномерные ансамбли магнитных наночастиц железа присутствуют в бактериях рода *Magnetotactic spirillum*, обеспечивая последним ориентацию в магнитном поле Земли. Истинными мастерами нанотехнологий являются моллюски, морские ежи, звезды и диатомовые водоросли.

Повышенный интерес исследователей к нанообъектам вызван наличием у них

необычных физических и химических свойств, особенностями биологического действия, которые часто радикально отличаются от свойств этого же вещества в форме сплошных фаз или макроскопических дисперсий. Сегодня наиболее изучены возможности использования наночастиц металлов в промышленности: при создании новых катализаторов для нужд нефтехимической промышленности (среди них наиболее перспективны наночастицы марганца, алюминия, титана), для создания нового поколения сенсорной и конструкционной керамики, сорбентов (наночастицы алюминия), при производстве прозрачных проводящих покрытий (наночастицы серебра) [1-3].

Хорошие перспективы открываются и для их применения в биологии и медицине. Возможно применение наночастиц для диагностики и лечения различных (в том числе онкологических) заболеваний, а также в иммунохимических методах [10-12]. Показано, в частности, что наночастицы серебра могут использоваться для получения различных материалов с бактерицидными свойствами [14], а наночастицы золота — для повышения эффективности и уменьшения побочных эффектов в радиотерапии опухолей [15, 16]. Основные сферы применения представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 — Свойства наночастиц металлов и сферы их использования

Можно выделить 4 основные группы: биоцидные, каталитические, электрические и магнитные свойства.

Интерес исследователей к наночастицам обусловлен появлением так называемых «квантовых размерных эффектов» [1, 17]. Эффекты вызваны тем, что с уменьшением размера и переходом от макроскопического тела к масштабам нескольких сот или нескольких тысяч атомов, плотность состояний в валентной зоне и в зоне проводимости резко изменяется, что отражается на физико-химических свойствах, обусловленных поведением электронов. Сегодня искусственно полученные наночастицы часто выделяют в отдельную, промежуточную область, и нередко называют «искусственными атомами» [18].

Другим главным фактором, оказывающим влияние на физические и химические свойства малых частиц по мере уменьшения их размеров, является возрастание в них относительной доли «поверхностных» атомов, находящихся в иных условиях (координационное число, симметрия локального окружения и т. п.), чем атомы объемной фазы. Так как свойства поверхностных и внутренних оболочек наночастиц различаются, это не позволяет считать их однородными. Глубина взаимодействия таких частиц с окружающей средой определяется двумя основными факторами: поверхностной энергией и природой химического вещества. Эта специфика наноматериалов определяется известными законами квантовой физики. В наноразмерном состоянии можно выделить следующие физико-химические особенности поведения веществ [17, 18].

- Увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе высокой кривизны. Большая кривизна поверхности наночастиц и изменение топологии связи атомов на ней приводит к изменению

их химических потенциалов. Вследствие этого существенно изменяется растворимость, реакционная и каталитическая способность.

- Большая удельная поверхность наноматериалов. Очень высокая удельная поверхность (в расчете на единицу массы) наноматериалов увеличивает их адсорбционную емкость, химическую реакционную способность и каталитические свойства. Это может приводить, в частности, к увеличению продукции свободных радикалов и активных форм кислорода и далее к повреждению биологических структур (липиды, белки, нуклеиновые кислоты, в частности ДНК).

- Небольшие размеры и разнообразие форм наночастиц. Вследствие своих небольших размеров они могут связываться с нуклеиновыми кислотами (вызывая, в частности, образование аддуктов ДНК), белками, встраиваться в мембраны, проникать в клеточные органеллы и тем самым изменять функции биоструктур.

- Высокая адсорбционная активность. Из-за своей высокоразвитой поверхности наночастицы обладают свойствами высокоэффективных адсорбентов, то есть способны поглощать на единицу своей массы во много раз больше адсорбируемых веществ, чем макроскопические дисперсии. Возможна также адсорбция на наночастицах различных контаминантов и облегчение их транспорта внутрь клетки, что резко увеличивает токсичность последних. Многие наноматериалы обладают гидрофобными свойствами или являются электрически заряженными, что усиливает как процессы адсорбции на них различных токсикантов, так и их способность проникать через барьеры организма.

- Высокая способность к аккумуляции. Возможно, что из-за малого размера наночастицы могут не распознаваться защитными системами организма, они не

подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма. Это ведет к их накоплению в растительных и животных организмах, а также увеличивает их поступление в организм человека.

- Способность к агрегации. Первичные частицы могут быть в различной степени агрегированы и агломерированы, при этом, чем меньше средний размер первичных частиц, тем сильнее выражен эффект образования агрегатов и агломератов.

Есть все основания полагать, что интерес к наноразмерным частицам будет сохраняться еще длительное время. Это вызвано тем, что они занимают промежуточное положение между атомно-молекулярным и конденсированным состояниями вещества. Из этого факта вытекают их необычные свойства, которые требуют дальнейшего изучения. Особое внимание обращено на наночастицы серебра.

Наночастицы серебра и их применение

Наночастицы серебра, как и другие наночастицы, характеризуются уникальными свойствами, связанными с высоким отношением их поверхности к объему, что определяет большую эффективность их действия. Большое внимание уделяется функциональной активности наночастиц серебра с точки зрения придания как бактерицидных, так и бактериостатических свойств различным материалам и изделиям. Наиболее эффективны для уничтожения болезнетворных микроорганизмов частицы серебра размером 9–15 нм. Они имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств.

Наночастицы серебра применяются как биоцидная добавка (в форме модификатора), предназначенная для создания и производства новых материалов, покрытий и других видов продукции с биоцидными свойствами широкого спектра действия. Выбор нанокомпозитов серебра для пропитки текстиля обусловлен их значительными и неоспоримыми преимуществами перед всеми существующими антимикробными средствами, поскольку соединения серебра, обладая широким спектром антимикробной активности, во многом лишены недостатков, связанных с проблемой резистентности к ним патогенных микроорганизмов [19].

Серебро в ионном виде обладает бактерицидным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих острые инфекции. Кроме того, в последнее время повышенный интерес к серебру объясняется не только его мощными антибактериальными свойствами, но также и выявленным действием его в организме как микроэлемента, необходимого для нормального функционирования органов и систем, иммунокорригирующими свойствами серебра. Серебро обладает иммуномодулирующими свойствами, значительно повышает специфическую защиту организма, особенно при ослабленном иммунитете.

Среди металлов серебро обладает наиболее сильным бактерицидным действием. При этом взаимодействие не самого металла, а его ионов с клетками микроорганизмов вызывает их гибель. Серебро проявляет высокую бактерицидную активность как по отношению к аэробным и анаэробным микроорганизмам (в том числе и к разновидностям, устойчивым к антибиотикам), так и к некоторым видам грибов.

Исследования показали, что чувствительность разных патогенных и непатогенных организмов к серебру неодинакова. Патогенная микрофлора намного более чувствительна к ионам серебра, чем непатогенная. Поэтому серебро действует избирательно, в большей степени уничтожая вредные микроорганизмы [19].

Механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра поглощаются клеточной оболочкой микроба, в результате чего его клетка остается жизнеспособной, но при этом нарушаются некоторые ее функции, например деление (бактериостатический эффект). Причем спектр противомикробного действия серебра значительно шире многих антибиотиков и сульфаниламидов. Серебро обладает более мощным антимикробным эффектом, чем пенициллин, биомицин и другие антибиотики, и оказывает губительное действие на штаммы (разновидности) бактерий, устойчивые к антибиотикам [20].

Таким образом, доказано, что ионы серебра оказывают как бактерицидное (способность убивать микробы), так и бактериостатическое (способность препятствовать размножению микробов) воздействие.

Очень важно, что при этом ионы серебра безвредны для клеток организма человека, в отличие от микроорганизмов. Эффект уничтожения бактерий препаратами серебра чрезвычайно велик. Он в 1750 раз сильнее действия той же концентрации карболовой кислоты и в 3,5 раза сильнее действия сулемы. Уже при концентрации 0,1 мг/л серебро обладает выраженным фунгицидным действием. Действие растворов серебра при одинаковых концентрациях выше действия хлора, хлорной извести, гипохлорида натрия и других сильных окислителей. Растворы серебра являются самым эффективным средством при непосредственном соприкосновении с

поверхностями, гноящимися и воспалёнными вследствие бактериального заражения [21].

Среди многочисленных теорий, объясняющих механизм действия серебра на микроорганизмы, наиболее распространенной является адсорбционная теория, согласно которой клетка теряет жизнеспособность в результате взаимодействия электростатических сил, возникающих между клетками бактерий, имеющих отрицательный заряд, и положительно заряженными ионами серебра при адсорбции последних бактериальной клеткой. В общих чертах механизм борьбы серебра с одноклеточными (бактериями) представляет следующее: серебро реагирует с клеточной мембраной бактерии, которая представляет собой структуру из особых белков (пептидогликанов), соединенных аминокислотами для обеспечения механической прочности и стабильности. Серебро взаимодействует с внешними пептидогликанами, блокируя их способность передавать кислород внутрь клетки бактерии, что приводит к «удушью» микроорганизма и его гибели.

Действие серебра специфично не по инфекции (как у антибиотиков), а по клеточной структуре. Любая клетка без химически устойчивой стенки подвержена воздействию серебра. Поскольку клетки млекопитающих имеют мембрану совершенно другого типа (не содержащую пептидогликанов), серебро никаким образом не действует на них [22].

Некоторые исследователи, объясняя механизм воздействия серебра на клетку, особое значение придают физико-химическим процессам. В частности, окислению протоплазмы бактерий и ее разрушению кислородом, растворенным в воде, причем серебро играет роль катализатора. Имеются данные, свидетельствующие об образовании комплексов нуклеиновых кислот с

тяжелыми металлами, вследствие чего нарушается стабильность ДНК и, соответственно, жизнеспособность бактерий. Также допускают, что одной из причин широкого противомикробного действия ионов серебра является ингибирование трансмембранного транспорта Na^+ и Ca^{2+} , вызываемое серебром [23].

Таким образом, механизм действия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра сорбируются клеточной оболочкой, которая выполняет защитную функцию. Клетка остается жизнеспособной, но при этом нарушаются некоторые ее функции. Как только на поверхности микробной клетки сорбируется серебро, оно проникает внутрь клетки и ингибирует ферменты дыхательной цепи, а также разобщает процессы окисления и окислительного фосфорилирования в микробных клетках, в результате чего клетка гибнет.

Заключение

Перспективное направление в использовании биоцидных свойств наночастиц серебра — производство текстильной и полимерной продукции медицинского и бытового назначения. Прежде всего, это производство различных перевязочных материалов, текстиля медицинского назначения, а также спортивной одежды, экипировки и термобелья. Кроме того, использование изделий, изготовленных из текстильных материалов, модифицированных наночастицами серебра, позволяет добиваться различных эффектов терморегуляции тела человека, повысить эффективность работы кислороднотранспортной системы организма, поддерживать водно-жировой баланс, стимулировать работу иммунной системы, обмен веществ и регенерацию клеток. Текстильные материалы, модифицированные наночастицами серебра, могут быть использованы в качестве профилактических антимикробных

средств защиты в местах, где возрастает опасность распространения инфекций: на предприятиях общественного питания, в сельскохозяйственных и животноводческих помещениях, в детских, спортивных и медицинских учреждениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Фостер Л. Нанотехнологии, наука, инновации и возможности: пер. с англ. М., Техносфера, 2008, 352 с.
- [2]. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М., Бином. Лаборатория знаний, 2007, с. 134.
- [3]. Сергеев Г.Б. Нанохимия: 2-е изд. М., МГУ, 2007, 148 с.
- [4]. Данилов А. Дуализм наночастиц. *Журнал «Российские нанотехнологии»*, 2009, Т.41, №5, с. 20–21.
- [5]. Проданчук Н. Г. Нанотоксикология: состояние и перспективы исследований. Современные проблемы тб. Huo Q. A perspective on biconjugated nanoparticles and quantum dots/ Q. Huo // *Colloids and surfaces*, 2007, 59, P. 1–10.
- [6]. F. Reynods, T. O. Loughlin, R. Weissleder, L. Josephson Method determining nanoparticle core weigh. *Anal chem*, 2005, Vol.77, P. 814–817.
DOI: doi.org/10.1021/ac049307x
- [7]. С. П. Губин, Ю. А. Кокшаров, Г. Б. Хомутов, Г. Ю. Юрков. Магнитные наночастицы, методы получения, строение, свойства. *Научная сессия МИФИ*, 2007, Т.9, С. 210–395.
- [8]. S. Laurent, D. Forge, M. Port [et al.]. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations and biological applications. *Chem. rev.*, 2008, Vol.108, P. 2064–2110. DOI:10.1021/cr068445e
- [9]. Silva G.A. Introduction to nanotechnology and its applications to medicine.

Surg. Neurol., 2004, Vol. 61, P. 216–220.
DOI: 10.1016/j.surneu.2003.09.036

[10]. И. С. Чекман, Б. А. Мовчан, М. И. Загородный [и др.]. Наносеребро: технологии получения, фармакологические свойства, показания к применению. *Препарати і технології*, 2008, №5(51), С. 32–40.

[11]. Г. П. Александрова, Л. А. Грищенко, Т. В. Фадеева [и др.] Дизайн наноразмерных биоконкомпозитов серебра для создания новых антимикробных средств. *Второй Санкт-Петербургский международный экологический форум «Окружающая среда и здоровье человека»*, 2008, С. 6.

[12]. Л. А. Дыкман, В. А. Богатырев, С. Ю. Щеглов, Н. Г. Хлебцов. Золотые наночастицы: синтез, свойства, биомедицинское применение. М., Наука, 2008, 319 с.

[13]. Б. Н. Филатов, Л. П. Точилкина, Л. Ю. Бочарова [и др.]. Токсиколого-гигиенические аспекты проблемы безопасности производства продукции на основе наночастиц золота. *Токсикологический вестник*, 2010, №3, С. 30–33.

[14]. Д. А. Баранов Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза. *Успехи химии*, 2009, №6, С. 539–574.

[15]. Ю. А. Букина, Е. А. Сергеева Получение антибактериальных текстильных материалов на основе наночастиц серебра посредством модификации поверхности текстиля неравновесной низкотемпературной плазмой. *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, № 7, С. 125–128.

[16]. В. С. Брызгунов, В. Н. Липин, В. Р. Матросова Сравнительная оценка бактерицидных свойств серебряной воды и антибиотиков на чистых культурах микробов и их ассоциациях. *Научн. тр. Казанского мед. ин-та*, 1964, Т. 14, С. 121–122.

[17]. В. Н. Иванов, Г. М. Ларионов, Н. И. Кулиш, М. А. Лутцева и др. Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами. *Серебро в медицине, биологии и технике. Сиб. отд. РАМН*, 1995, № 4, С. 53–62.

[18]. Помогайло А.Д. Полимер иммобилизованные наноразмерные и кластерные частицы металлов. *Успехи химии*, 1997, Т. 66, № 8, С. 750–791.

[19]. J. J. Abramson, J. L. Trimm, L. Weden, G. Salama Heavy metals induce rapid calcium release from sarcoplasmic reticulum vesicles isolated from skeletal muscle. *Proc. nat. Acad. Sci.*, 2003, Vol 80, N 6, P. 1526–1530.

DOI: doi.org/10.1073/pnas.80.6.1526

Золина Людмила Ивановна — канд. хим. наук, доцент, кафедра «Химии и технологии полимерных материалов и нанокомпозитов», Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Грачёва Кристина Олеговна — менеджер, компания ПепсиКо, Россия, Москва (Российская Федерация, Москва, 125315, Ленинградский проспект, 72, к. 4).

Physicochemical and biochemical properties of metallic nanoparticles and their applications

L. I. Zolina*, K. O. Gracheva**,1

* The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia

** PepsiCo Inc., Moscow, Russia

Abstract

A review of modern concepts of nanoobjects is carried out. Various aspects of the properties of nanosized particles and promising possibilities of using nanomaterials in many fields of science and technology are considered. It is shown that nanoobjects have unusual physical and chemical properties, as well as features of biological action, which differs from the properties of the same substance in a continuous phase. In the nanosized state, the specific surface area and chemical potential of substances at the interface increase. It is noted that much attention is paid to the functional activity of silver nanoparticles in terms of imparting both bactericidal and bacteriostatic properties to various materials and products. The use of silver in the form of nanoparticles makes it possible to reduce the concentration of silver by a factor of hundreds, while retaining all its bactericidal properties. Silver nanoparticles are used as a biocidal additive — in the form of a modifier, intended for the creation and production of new materials, coatings and other types of products with biocidal properties of a wide spectrum of action. The choice of silver nanocomposites for impregnating textiles is due to their significant and indisputable advantages over all existing antimicrobial agents, since silver compounds, having a wide spectrum of antimicrobial activity, are largely devoid of the disadvantages associated with the problem of resistance of pathogenic microorganisms to them.

Keywords

Nanomaterials, silver nanoparticles, bactericidal and bacteriostatic properties.

REFERENCES

- [1]. Foster L. Nanotechnologies, science, innovations and opportunities / L. Foster, Moscow, Technosfera Publ., 2008, 352 p.
- [2]. Kobayashi N. Introduction to nanotechnology. Moscow, Binom. Knowledge Laboratory Publ., 2007, p. 134.
- [3]. Sergeev G.B. Nanochemistry: 2nd ed. Moscow, MGU, 2007, 148 p. (In Russ.)
- [4]. Danilov A. Dualism of nanoparticles. *Russian Nanotechnologies Journal*. 2009, V. 41, No. 5, p. 20–21. (In Russ.)
- [5]. N. G. Prodanchuk, G. M. Balan. Nanotoxicology: state of the art and prospects for research. Modern problems v6. Huo Q. A perspective on biconjugated

¹ Corresponding author:

Email: kristina.gracheva.94@list.ru

nanoparticles and quantum dots/ Q. Huo //Colloids and surfaces, 2007, 59, P. 1–10.

[6]. F. Reynolds, T. O. Loughlin, R. Weissleder, L. Josephson Method determining nanoparticle core weigh. *Anal chem*, 2005, Vol.77, P. 814–817.

DOI: doi.org/10.1021/ac049307x.

[7]. S. P. Gubin, Yu. A. Koksharov, G. B. Khomutov, G. Yu. Yurkov Magnetic nanoparticles, production methods, structure, properties. *MEPhI scientific session*, 2007, V. 9, p. 210–395.

[8]. S. Laurent, D. Forge, M. Port [et al.]. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physico-chemical characterizations and biological applications. *Chem. rev.*, 2008, Vol.108, P. 2064–2110. DOI:10.1021/cr068445e

[9]. Silva G.A. Introduction to nanotechnology and its applications to medicine. *Surg. Neurol*, 2004, Vol. 61, P. 216–220. DOI: 10.1016/j.surneu.2003.09.036

[10]. I. S. Chekman, B. A. Movchan, M. I. Zagorodny [et al.]. Nanosilver: production technologies, pharmacological properties, indications for use. *Preparations and technologies*, 2008, No. 5 (51), p. 32–40. (In Russ.)

[11]. G. P. Aleksandrova, L. A. Grishchenko, T. V. Fadeeva [et al.]. Design of nanosized silver biocomposites for the creation of new antimicrobial agents. *Second St. Petersburg International Ecological Forum «Environment and Human Health»*, 2008, P. 6. (In Russ.)

[12]. L. A. Dykman, V. A. Bogatyrev, S. Yu. Shcheglov, N. G. Khlebtsov. Gold nanoparticles: synthesis, properties, biomedical applications. Moscow, Nauka Publ., 2008, 319 p. (In Russ.)

[13]. B. N. Filatov, L. P. Tochilkina, L. Yu. Bocharova [et al.]. Toxicological and

hygienic aspects of the problem of safety in the production of products based on gold nanoparticles. *Toxicological Bulletin*, 2010, No. 3, P. 30–33. (In Russ.)

[14]. D. A. Baranov, S. P. Gubin Magnetic nanoparticles: achievements and problems of chemical synthesis. *Advances in Chemistry*, 2009, No. 6, p. 539–574. (In Russ.)

[15]. Yu. A. Bukina, E. A. Sergeeva Obtaining antibacterial textile materials based on silver nanoparticles by modifying the surface of textiles with non-equilibrium low-temperature plasma. *Bulletin of the Kazan Technological University*, 2012, No. 7, p. 125–128. (In Russ.)

[16]. V. S. Bryzgunov, V. N. Lipin, V. R. Matrosova Comparative evaluation of bactericidal properties of silver water and antibiotics on pure cultures of microbes and their associations. *Nauchn.tr. Kazan med. in-ta*, 1964, V.14, p. 121–122. (In Russ.)

[17]. V. N. Ivanov, G. M. Larionov, N. I. Kulish, M. A. Lutseva et al. Some experimental and clinical results of the use of silver cations in the fight against drug-resistant microorganisms. *Silver in medicine, biology and technology. Sib.det. RAMN*, 1995, No. 4, p. 53-62. (In Russ.)

[18]. Pomogailo A.D. Polymer immobilized nanosized and cluster particles of metals. *Uspekhi khimii* [Advances in Chemistry], 1997, Vol. 66, No. 8, p. 750-791. (In Russ.)

[19]. J. J. Abramson, J. L. Trimm, L. Weden, G. Salama Heavy metals induce rapid calcium release from sarcoplasmic reticulum vesicles isolated from skeletal muscle. *Proc. nat. Acad. Sci.*, 2003, Vol 80, N 6, P. 1526-1530.

DOI: doi.org/10.1073/pnas.80.6.1526

Zolina L. I. — Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor, Department of Chemistry and Technology of Polymeric Materials and Nanocomposites, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Gracheva K. O. — manager of the PepsiCo company, Russia, Moscow (Leningradsky prospect, 72 k 4, Moscow, 125315, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Физико-химические и биохимические свойства металлических наночастиц и их применение / Л. И. Золина, К. О. Грачёва // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 1. С. 29 – 38.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-29-38

Please cite this article as:

Zolina L. I., Gracheva K. O. Physicochemical and biochemical properties of metallic nanoparticles and their applications. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 29 – 38

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-29-38