

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА
ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИЦИДНЫХ СОРБЕНТОВ**

Е.А. Фарберова, А.Ю. Катышева, С.А. Смирнов, Е.А. Тиньгаева, А.Г. Старостин

Елена Абрамовна Фарберова, Анастасия Юрьевна Катышева, Елена Александровна Тиньгаева *

Кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: elenafarb@gmail.com, katisheva.anastasiya@yandex.ru, teengaeva@mail.ru *

Сергей Александрович Смирнов, Андрей Георгиевич Старостин

Кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: po4tamoia@mail.ru, starostin26@yandex.ru

Настоящая работа посвящена исследованию сорбционных и бактерицидных свойств активной угольной ткани, на поверхность которой методом химического осаждения нанесены мелкодисперсные частицы металла. В качестве восстановителей металлов, меди и серебра, в работе использованы аскорбиновая кислота и боргидрид натрия. Показано влияние восстановителя и природы мелкодисперсного металла на характер пористой структуры, бактерицидные и сорбционные характеристики полученных образцов волокнистых сорбентов. Установлено, что использование аскорбиновой кислоты для синтеза мелкодисперсных частиц меди и серебра на поверхности АУТ приводит к значительному снижению удельной поверхности и объемов мезо- и микропор получаемого сорбента по сравнению с исходной АУТ. При использовании в качестве восстановителя мелкодисперсных частиц меди боргидрида натрия также наблюдается снижение удельной поверхности и объемов сорбционных пор. Однако, образцы АУТ, модифицированные частицами серебра или их композицией с частицами мелкодисперсной меди, при использовании боргидрида натрия обладают по сравнению с АУТ исходной более высоким значением основных характеристик пористой структуры. Методом электронной микроскопии исследован характер распределения мелкодисперсных частиц металла на поверхности АУТ. Обнаружено, что частицы мелкодисперсной меди при химическом восстановлении прикрепляются к волокнам АУТ, практически равномерно распределяясь по всей поверхности ткани. Частицы серебра располагаются скоплениями кристаллов вдоль волокон. Исследованы сорбционные и бактерицидные свойства полученных образцов модифицированной АУТ, показана их высокая чувствительностью к клеткам микроорганизмов, которая сохраняется в течение длительного срока хранения. При этом АУТ, модифицированная частицами мелкодисперсной меди и серебра, сохраняет высокие сорбционные свойства.

Ключевые слова: активная угольная ткань, бактерицидный сорбент, мелкодисперсные частицы металла, пористая структура, восстанавливающий реагент

RESEARCH OF POSSIBILITY OF USING CHEMICAL METHOD OF FINE METAL PARTICLES REDUCTION FOR BACTERICIDAL SORBENTS PRODUCTION

E.A. Farberova, A.Yu. Katysheva, S.A. Smirnov, E.A. Tingaeva, A.G. Starostin

Elena A. Farberova, Anastasia Yu. Katysheva, Elena A. Tingaeva *

Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: elenafarb@gmail.com, katisheva.anastasiya@yandex.ru, teengaeva@mail.ru *

Sergey A. Smirnov, Andrey G. Starostin

Department of Chemical Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: po4tamoia@mail.ru, starostin26@yandex.ru

The present paper is concerned with a research of sorption and bactericidal properties of the fine metal particles applied on the surface of active carbon fabric by chemical sedimentation method. The ascorbic acid and natrium borane were used in the study process as metals, copper and silver reducing agents. Influence of reducer and fine metal nature onto the porous structure, as well as bactericidal and sorption characteristics of obtained fibrous sorbent samples are shown. It is determined that use of ascorbic acid for synthesis of copper and silver fine particles on the active carbon fabrics surface leads to the considerable decrease in a specific surface and volumes of meso - and micropores of the obtained sorbent in comparison with initial active carbon fabric. When using the natrium borane as reducer of fine copper particles the decrease in a specific surface and volumes of sorption pores is also observed. However, when using the natrium borane, the active carbon fabric samples modified with silver particles or with their composition with fine copper particles, had the higher values of porous structure main characteristics in comparison with the initial active carbon fabric. The nature of distribution of fine metal particles at the active carbon fabric surface was investigated by the electronic microscopy method. It was found that during the chemical reduction process the particles of fine copper attached to active carbon fabric fibers, being almost evenly distributed at all surface of fabric. Particles of silver were located as crystal congestions along fibers. Sorption and bactericidal properties of the received samples of modified active carbon fabrics are investigated. Their high sensitivity to microorganism cells which remains during a long storage period is demonstrated. Herewith, the active carbon fabric, modified with particles of fine copper and silver, keeps high sorption properties.

Key words: active carbon fabric, bactericidal sorbent, metal fine particles, porous structure, reducing reagent

Для цитирования:

Фарберова Е.А., Катыхева А.Ю., Смирнов С.А., Тиньгаева Е.А., Старостин А.Г. Исследование возможности использования химического метода восстановления мелкодисперсных частиц металлов для получения бактерицидных сорбентов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 3. С. 46–53

For citation:

Farberova E.A., Katysheva A.Yu., Smirnov S.A., Tingaeva E.A., Starostin A.G. Research of possibility of using chemical method of fine metal particles reduction for bactericidal sorbents production. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [Russ. J. Chem. & Chem. Tech.]. 2020. V. 63. N 3. P. 46–53

ВВЕДЕНИЕ

Наночастицы меди и серебра обладают такими уникальными свойствами, как высокая химическая активность в каталитических процессах, высокая биологическая активность к патогенным флорам, высокая электро- и теплопроводность. Основная трудность в их получении заключается в приготовлении и хранении, так как они сразу окисляются при воздействии воздуха. Чтобы устранить

проблему окисления, ученые используют различные инертные среды, а также восстанавливающие или защитные реагенты.

Частицы нанодисперсного серебра и меди применяются в качестве эффективных противогрибковых, антимикробных и дезинфицирующих препаратов. Серебро может использоваться в очень малых концентрациях без потери антимикробных

свойств и с минимальным токсическим воздействием на организм. Исследования, проведенные учеными, показывают, что чувствительность патогенных и не патогенных микроорганизмов к воздействию ионов серебра неравноценна. Согласно одной из общепринятых гипотез, механизм действия нанодисперсного серебра на микробную клетку заключается в том, что его ионы поглощаются клеточной оболочкой. Клетка продолжает быть жизнеспособной, но при этом нарушается ее деление [1-3].

Частицы нанодисперсной меди, как и нанодисперсного серебра, обладают ярко выраженным бактериостатическим и бактериолитическим действием. Частицы меди могут воздействовать на микроорганизмы разными способами. Ионы меди могут разрушить клеточную оболочку, таким образом уничтожая клетку. Так как медь необходима организму, специальные системы оболочки переносят ионы меди в клетку, но если за ее пределами находится большое количество металла, то в клетку попадает его избыток, который также приводит к гибели микроорганизма [4].

Синтез стабильных монодисперсных форм наночастиц меди затруднен из-за склонности меди окисляться и агрегировать. Для решения этих проблем на сегодняшний день наиболее распространенным подходом является использование пространственно-ограниченных систем [5] или носителей.

В качестве такого носителя могут выступать активированные углеродные волокна. Они могут быть изготовлены с очень большой площадью поверхности и малым диаметром волокна (обычно 10-20 мкм), что обеспечивает быстрое протекание процессов адсорбции или каталитических процессов. Благодаря упорядоченности структуры углеродного волокна (УВ), в единице объема их активированных форм содержится большая доля мезо- и микропор. Микропоры располагаются перпендикулярно оси волокна, что делает их доступными с внешней поверхности материала и обеспечивает их большую кинетическую активность по отношению к сорбируемым веществам. Активированные углеродные волокнистые материалы являются уникальными сорбентами, которые используются в различных областях промышленности и техники [6-8]. Одним из способов нанесения металлов на поверхность носителя является метод электроосаждения из растворов электролитов. Данный метод позволяет выращивать покрытия из металлических дефектных кристаллов. Обычно кристаллы в покрытии представляют собой конусообразные образования слоистого строения или пентагональные пирамиды с высокими степенями роста [9-11].

Ранее уже проводилось исследование по получению частиц меди электролизом из растворов разного состава с использованием активированной углеродной ткани (АУТ) [12, 13]. В данной работе [13] для нанесения меди на поверхность АУТ был использован глицератный электролит, содержащий в своем составе ферроцианид калия, который вводят в раствор электролита для получения равномерного металлического покрытия, а также электролит, в котором отсутствовал данный компонент. По сравнению с образцом, полученным при таких же параметрах из глицератного раствора, содержащего ферроцианид калия, изменялась морфология поверхности, значительно увеличивались размеры кристаллов. Полученная таким способом ткань обладала более высокой бактерицидной способностью, следовательно, антимикробная активность АУТ, модифицированной частицами меди, зависит не только от размеров кристаллов, образующихся на поверхности ткани, но и от их формы. Однако при нанесении частиц меди на поверхность АУТ электрохимическим методом наблюдалось снижение сорбционных свойств материала.

Применение метода восстановления частиц меди на поверхность углеродного материала открывает возможность для создания эффективного сорбционного материала с высокими бактерицидными свойствами по отношению к различным видам микроорганизмов [14-16].

Целью данной работы является исследование возможности применения метода химического восстановления мелкодисперсных частиц меди и серебра на поверхности АУТ для синтеза бактерицидного сорбента с высокой сорбционной активностью.

В качестве восстановителей могут выступать органические и неорганические соединения, металлы или газы. Стабильность частиц металлов, их размеры и морфология зависят от ряда факторов: природы и концентрации соли и восстановителя, температуры, рН, а также от стабилизирующих агентов. Используя один и тот же восстановитель и исходную соль металла при разных условиях, можно получать частицы разной структуры и размера.

В данной работе для восстановления меди и серебра из растворов на поверхности АУТ использовали аскорбиновую кислоту и боргидрид натрия (NaBH_4). Применение аскорбиновой кислоты позволяет получать мультидисперсные порошки меди при температуре 20-50 °С. При этом ее избыток, адсорбированный на поверхности частиц меди, предотвращает их агрегацию и окисление [17].

Известно, что боргидрид натрия является кинетически активным восстановителем и стабилизатором, позволяющим проводить синтез наночастиц металлов при низких температурах. Однако следует отметить, что NaBH_4 весьма неустойчив и подвержен разложению при длительном хранении даже в сухом виде. Для полного восстановления металла необходим его избыток [18].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для восстановления частиц меди и серебра на поверхности АУТ образец помещали в раствор сульфата меди (II) и оставляли в растворе до полной пропитки ткани. Затем раствор нагревали и вводили восстановитель. Для поддержания постоянного значения pH вводили гидроксид натрия. Далее ткань отделяли от раствора и промывали дистиллированной водой.

Состояние поверхности полученных образцов сорбентов исследовано с использованием сканирующего электронного микроскопа S-3400N фирмы «Hitachi». Анализ параметров пористой структуры образцов проводился с использованием быстродействующего анализатора сорбции газов «NOVA-1200 e» методом физической адсорбции азота при 77 К.

Бактерицидные свойства всех полученных образцов исследованы с помощью диско-диффузионного метода [19]. В качестве тест-культуры использовали бактерии рода *Esherichia-E.coli*. Данные бактерии относятся к грамотрицательным и используются в качестве показателя загрязненности воды в международных стандартах. Культура выделена из речной воды, Колонии выделенной культуры обладали следующими признаками: форма колоний – округлая; размер – 3-5 мм; поверхность – гладкая; профиль колоний – плоский; цвет – красный (из-за наличия в питательной среде

фуксина); край колоний – ровный; структура – однородная.

Помимо исследования бактерицидных свойств полученных образцов АУТ были также исследованы и их сорбционные свойства по метиленовому голубому. Для этого готовили серию водных растворов метиленового голубого (МГ) с концентрацией от 3,0 до 13,5 моль/дм³. Образцы АУТ экспонировали в 50 см³ растворов с различной концентрацией красителя. Оптическую плотность контролировали на ФЭК АР-101 до и после сорбции относительно дистиллированной воды при длине волны 420 нм [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлена характеристика пористой структуры синтезированных образцов и исходной АУТ.

Использование аскорбиновой кислоты для синтеза мелкодисперсной меди и серебра на поверхности АУТ приводит к снижению удельной поверхности по БЭТ ($S_{\text{БЭТ}}$), объема мезо- и микропор ($V_{\text{МЕ}}$ и $V_{\text{МИ}}$), по сравнению с исходной АУТ. При восстановлении меди и серебра боргидридом натрия данные величины снижаются только в случае восстановления на поверхности ткани мелкодисперсной меди. Образцы, содержащие в качестве добавки частицы серебра и совместно серебра и меди, имеют более высокие показатели $S_{\text{БЭТ}}$, предельного объема сорбционного пространства (W_0) и объема микропор ($V_{\text{МИ}}$).

На рисунке представлены микрофотографии поверхности образцов АУТ, модифицированных частицами мелкодисперсной меди и серебра, полученными с использованием в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты и боргидрида натрия.

Таблица 1

Характеристика пористой структуры образцов АУТ, модифицированных частицами мелкодисперсной меди и серебра

Table 1. Characteristic of porous structure of the active carbon fabric samples modified by particles of fine copper and silver

Восстановитель	Образец	Характеристики				
		$S_{\text{БЭТ}}, \text{M}^2/\text{Г}$	$W_0, \text{CM}^3/\text{Г}$	$V_{\text{МЕ}}, \text{CM}^3/\text{Г}$	$V_{\text{МИ}}, \text{CM}^3/\text{Г}$	R_{CP}, NM
-	Исходная АУТ	1105	0,551	0,156	0,444	0,998
Аскорбиновая кислота	АУТ-Cu	658	0,313	0,059	0,265	0,952
	АУТ-Ag	898	0,468	0,152	0,366	1,043
	АУТ-Ag+Cu	805	0,379	0,071	0,323	0,941
NaBH_4	АУТ-Cu	1065	0,494	0,099	0,424	0,928
	АУТ-Ag	1206	0,599	0,167	0,483	0,994
	АУТ-Ag+Cu	1338	0,625	0,134	0,529	0,934

Примечание: $V_{\text{МЕ}}, \text{CM}^3/\text{Г}$ – объем мезопор. R_{CP}, NM – средний радиус пор

Note: $V_{\text{ME}}, \text{CM}^3/\text{g}$ – mesopore volume. R_{av}, nm – the average radius of pores

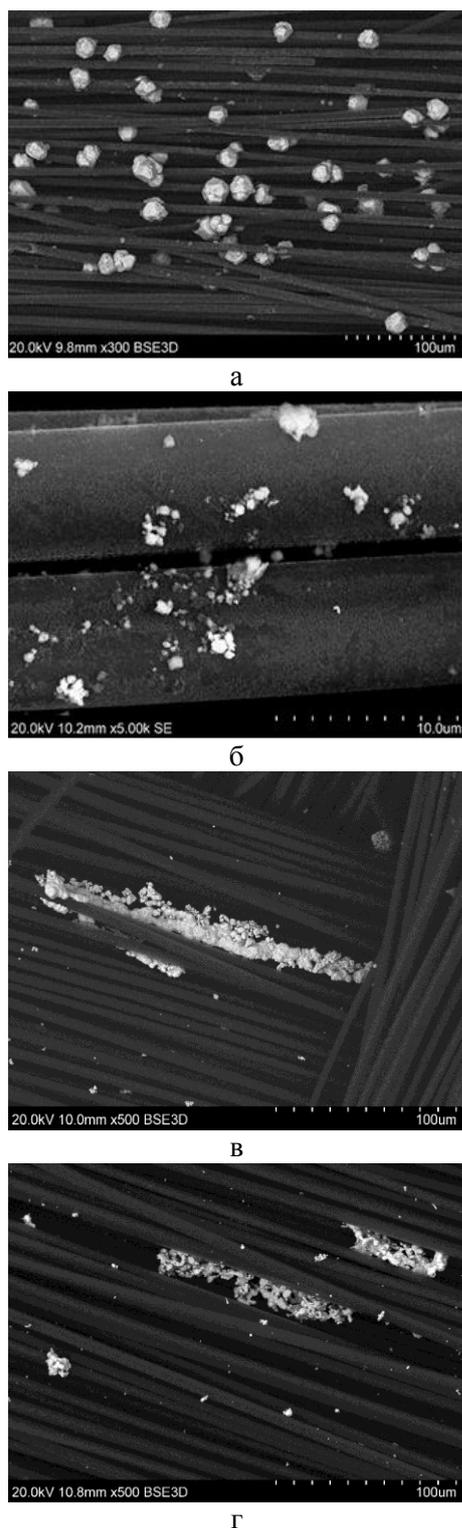


Рис. Микрофотографии образцов АУТ, модифицированных частицами металла: а) Cu, восстановитель - аскорбиновая кислота; б) Cu, восстановитель - NaBH_4 ; в) Ag, восстановитель - аскорбиновая кислота; г) Ag, восстановитель - NaBH_4
 Fig. Microphotos of the active carbon fabric samples modified with metal particles: а) Cu, reducing agent - ascorbic acid; б) Cu, reducer - NaBH_4 ; в) Ag, reducer - ascorbic acid; д) Ag, reducer - NaBH_4

На микрофотографиях видно, что при использовании в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты серебро располагается скоплениями кристаллов между волокнами АУТ (рис. 1в). Размеры отдельных участков таких скоплений варьируются от 71,5 до 304 мкм. Характер расположения меди на поверхности АУТ иной (рис. 1а). Частицы меди многогранной формы прикрепляются к волокнам ткани. Размеры таких частиц составляли 4,4-28,3 мкм, что примерно в 10 раз меньше размеров частиц серебра. При последовательном восстановлении на поверхности АУТ сначала серебра, затем меди также образуются конгломераты, причем медь закрепляется на частицах серебра. Размеры таких конгломератов находятся в диапазоне от 12,4 до 190 мкм. Восстановление на поверхности АУТ сначала частиц меди, затем серебра приводит к возникновению агрегатов размером 4,07-134 мкм.

Анализ поверхности образцов АУТ, полученных при использовании в качестве восстановителя боргидрида натрия, показал, что характер расположения частиц меди и серебра на ткани аналогичен образцам, полученным с помощью аскорбиновой кислоты (рис. 1 б, г). Однако размеры частиц металла, расположенных на поверхности АУТ, значительно меньше. Так частицы меди имеют размеры 0,237-0,622 мкм, частицы серебра 4,4-115 мкм. При последовательном восстановлении на АУТ серебра, а затем меди размеры частиц составили 14,9-36,2 мкм, а при обратном порядке нанесения металлов - 1,19-134 мкм. Обнаружено, что форма конгломератов частиц при последовательном осаждении металлов на АУТ соответствует форме частиц металла, который первым был нанесен на угольные волокна. В табл. 2 представлены результаты исследования бактерицидных и сорбционных свойств всех полученных образцов АУТ.

Все образцы АУТ обладают высокой чувствительностью по отношению к исследуемым микроорганизмам, при этом сохраняют высокие сорбционные свойства.

Изучено влияние соотношения количества серебра и меди на поверхности АУТ на бактерицидные свойства материала. Результаты приведены в табл. 3. Все образцы АУТ обладают удовлетворительной чувствительностью к исследуемой культуре микроорганизмов. При использовании в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты наблюдается снижение бактерицидной чувствительности с увеличением содержания серебра в композиции.

Таблица 2

Бактерицидные и сорбционные свойства образцов АУТ, модифицированных частицами мелкодисперсной меди и серебра

Table 2. Bactericidal and sorption properties of active carbon fabric samples modified with particles of fine copper and silver

Образец	Восстановитель	Зона лизиса, мм	Адсорбционная активность по МГ, мг/г
Исходная АУТ	-	-	207,6
АУТ-Cu	Аскорбиновая кислота	15	216,3
	NaBH ₄	25	220,0
АУТ-Ag	Аскорбиновая кислота	20	211,5
	NaBH ₄	25	214,0
АУТ-Ag+Cu	Аскорбиновая кислота	25	209,5
	NaBH ₄	25	216,0
АУТ-Cu+Ag	Аскорбиновая кислота	20	212,5
	NaBH ₄	25	216,0

Таблица 3

Влияние соотношения содержания серебра и меди на бактерицидные свойства АУТ, модифицированной металлами

Table 3. Influence of a ratio of content of silver and the copper on the MISS bactericidal properties modified by metals

Восстановитель	Ag: Cu	Зона лизиса, мм
NaBH ₄	3:10	20
	2:10	25
	1:10	25
Аскорбиновая кислота	3:10	15
	2:10	20
	1:10	25

Как было отмечено ранее, трудность использования нанодисперсных частиц меди и серебра заключается в их хранении из-за высокой восстановительной активности. Поэтому при получении порошков мелкодисперсных металлов их обрабатывают защитными реагентами для устранения проблемы окисления. Полученные бактерицидные материалы на основе АУТ, модифицированные частицами мелкодисперсной меди и серебра, сохраняли свои бактерицидные свойства в течение 6 мес.

ВЫВОДЫ

В результате исследования возможности синтеза мелкодисперсной меди и серебра на поверхности АУТ методом химического восстановления получена серия образцов, модифицированных мелкодисперсной медью, серебром и серебром с медью, обладающих высокими бактерицидными и сорбционными свойствами.

Исследовано изменение характера пористой структуры модифицированных образцов АУТ. Выявлено, что предельный объем сорбционных пор меняется по сравнению с исходной АУТ в зависимости от использованного восстановителя и бактерицидной добавки. При восстановлении на поверхности АУТ исключительно меди независимо от вида восстановителя удельная поверхность и предельный объем сорбционного пространства снижаются. Применение аскорбиновой кислоты независимо от выбора бактерицидной добавки также приводит к снижению данных показателей. При использовании в качестве восстановителя боргидрида натрия происходит увеличение значений удельной поверхности по БЭТ, предельного объема сорбционного пространства и объема микропор при модифицировании АУТ частицами серебра и композицией серебра с медью.

Проведен анализ поверхности образцов АУТ и исследован характер распределения бактерицидных добавок. Обнаружено, что частицы меди прикрепляются к волокнам АУТ, в то время как частицы серебра располагаются скоплениями кристаллов вдоль волокон. При восстановлении на ткани композиции сначала серебра, а затем меди образуются конгломераты, частицы меди закрепляются на частицах серебра. Размеры восстановленных на поверхности ткани частиц металлов зависят от вида восстановителя: применение боргидрида натрия приводит к образованию частиц значительно меньшего размера, что объясняет более высокие показатели бактерицидных свойств модифицированной ткани.

Исследованы бактерицидные и сорбционные свойства полученных образцов АУТ. Все образцы обладают высокой чувствительностью к выделенной культуре микроорганизмов и сохраняют свои сорбционные свойства. Наиболее эффективными сорбентами являются образцы, полученные с помощью боргидрида натрия.

Показано, что при синтезе мелкодисперсной меди и серебра на поверхности АУТ образцы сохраняют свои бактерицидные свойства на протяжении 6 мес хранения.

Работа выполнена с использованием научного оборудования НОЦ «Технологий сорбентов и

катализаторов» и Центра «Наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» ПНИПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букина Ю.А. Антибактериальные свойства и механизм бактерицидного действия наночастиц и ионов серебра / Ю. А. Букина. – Текст: непосредственный. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2012. № 14. С. 170–172.
2. Шурьгина И.А., Сухов Б.Г., Фадеева Т.В. Механизм бактерицидного действия Ag(0)-нанокомпозита: эволюция исходного композита и живой микробной клетки в новый композит. *Изв. вузов. Физика*. 2011. Т. 54. Вып. 2. С. 285–288.
3. Шурьгина И.А., Шурьгин М.Г. Перспективы применения наночастиц металлов для целей регенеративной медицины. *Сибир. мед. обзор*. 2018. № 4(112). С. 31-37. DOI: 10.20333/2500136-2018-4-31-37.
4. Голохваст К.С., Паничев А.М., Мишаков И.М. Эко-токсикология нано- и микрочастиц минералов. *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2011. Т. 13. № 1. С. 1256–1259.
5. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 с.
6. Земскова Л.А. Модифицированные углеродные волокна: сорбенты, электродные материалы, катализаторы. *Вестн. ДВО РАН*. 2009. № 2. С. 39–52.
7. Варшавский В.Я. Углеродные волокна. М.: Изд-во Варшавский, ПИК ВИНТИ. 2007. 500 с.
8. Лысенко А.А. Перспективы развития исследований и производства углеродных волокнистых сорбентов. *Хим. волокна*. 2007. № 2. С. 4–11.
9. Викарчук А.А., Грызунова Н.Н., Грызунов А.М., Романов А.Е. Рост металлических кристаллов в процессе электрокристаллизации с одновременной механоактивацией их поверхности. *Вестн. Тамбов. ун-та. Естеств. и технич. науки*. 2016. Т. 21. Вып. 3. С. 730–733. DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-730-733.
10. Грызунов А.М., Викарчук А.А. Фрагментированные структуры меди в температурных полях. *Вектор науки ТГУ*. 2017. № 4. С. 32–39. DOI: 10.18323/2073-5073-2017-4-32-39.
11. Викарчук А.А., Воленко А.П. Пентагональные кристаллы меди, многообразие форм их роста и особенности внутреннего строения. *Физика твердого тела*. 2005. Т. 47. Вып. 2. С. 339–344.
12. Фарберова Е.А., Тиньяева Е.А., Максимов А.С. Получение сорбционного материала с бактерицидными свойствами для использования в водоподготовке. *Вестн. ПНИПУ. Хим. технол. и биотехнол.* 2012. № 14. С. 193–197.
13. Фарберова Е.А., Тиньяева Е.А., Катыева А.Ю. Волокнистый бактерицидный углеродсодержащий материал для водоподготовки. *Бутлеров. сообщ.* 2017. Т. 49. № 2. С. 137–143.
14. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К. Химические способы получения наночастиц меди. *Бутлеров. сообщ.* 2014. Т. 37. № 2. С. 103–113.
15. Вдовина С.Н., Феропонтов Н.Б., Золотухина Е.В., Нестерова Е.А. Химическое осаждение меди в гелях сшитых поливинилового спирта и полиакриламида. *Конденсир. среды и межфаз. границы*. 2010. Т. 12. № 2. С. 93–100.

REFERENCES

1. Bukina Yu.A. Antibacterial properties and mechanism of bactericidal action of silver nanoparticles and ions. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Un-ta*. 2012. N 14. P. 170–172 (in Russian).
2. Shurygina I.A., Sukhov B.G., Fadeyeva T.V. Mechanism of bactericidal action of Ag (0) - nanocomposite: evolution of an initial composite and living microbic cell to a new composite. *Izv. Vyssh. uchebn. Zaved. Fizika*. 2011. N 2. P. 285–288 (in Russian).
3. Shurygina I.A., Hurygin M.G. The prospects of metals nanoparticles application for regenerative medicine. *Sibir. Med. Obozr.* 2018. N 4. P. 31–37 (in Russian).
4. Golokhvast K.S., Panichev A.M., Mishakov I.M. Ecotoxicology of nano - and microparticles of minerals. *Izv. Samar. Nauch. Tsentra RAN*. 2011. N 1. P. 51 – 59 (in Russian).
5. Pomogaiylo A.D., Rosenberg A.S., Uflyand I.E. Nanoparticles of metals in polymers. M.: Khimiya. 2000. 672 p. (in Russian).
6. Zemskova L.A. The modified carbon fibers: sorbents, electrode materials, catalysts. *Vestn. DVO RAN*. 2009. N 2. P. 40–41 (in Russian).
7. Varshavskiy V.Ya. Carbon fibers. M.: Izd-vo Varshavskiy, PIK VINITI. 2007. 500 p. (in Russian).
8. Lysenko A.A. Prospects of development in carbon fibrous sorbents researches and production. *Khim. Volokna*. 2007. N 2. P. 4–11 (in Russian).
9. Vikarchuk A.A., Gryzunova N.N., Gryzunov A.M., Romanov A.E. Growth of metal crystals in the course of electrocrystallization with simultaneous mechanoactivation of their surface. *Vestn. Tambov. Un-ta. Estestv. Tekhn. Nauki*. 2016. V. 21. N 3. P. 730–733 (in Russian). DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-730-733.
10. Gryzunov A.M., Vikarchuk A.A. The fragmented structures of copper in temperature fields. *Vektor Nauki TGU*. 2017. N 4. P. 32–39 (in Russian). DOI: 10.18323/2073-5073-2017-4-32-39.
11. Vikarchuk A.A., Volenko A.P. Pentagonal crystals of copper, variety of forms of their growth and internal structure features. *Fizika Tverdogo Tela*. 2005. V. 47. N 2. P. 339–344 (in Russian).
12. Farberova E.A., Tingaeva E.A., Maksimov A.S. Development of sorption materials with bactericidal properties for use in water treatment. *Vestn. PNIPU. Khim. Tekhnol. Biotekhnol.* 2012. N 14. P. 193–197 (in Russian).
13. Farberova E.A., Tingaeva E.A., Katysheva A.Yu. Fibrous bactericidal carboniferous material for water treatment. *Butlerov Soobshch.* 2017. V. 49. N 2. P. 137–143 (in Russian).
14. Soldatenko E.M., Doronin S.Yu., Chernova R.K. Chemical ways of receiving copper nanoparticles. *Butlerov Soobshch.* 2014. V. 37. N 2. P. 103–113 (in Russian).
15. Vdovina S.N., Ferapontov N.B., Zolotukhina E.V., Nesterova E.A. Chemical sedimentation of copper in gels of the sewed polyvinyl alcohol and polyacrylamide. *Kondensir. Sredy Mezhfaz. Granitsy*. 2010. V. 12. N 2. P. 93–100 (in Russian).
16. Branicky G.A. Growth of threadlike structures of silver at the surface of copper. *Khim. Fizika*. 2004. V. 23. N 11. P. 23–35 (in Russian).

16. **Браницкий Г.А.** Рост нитевидных структур серебра на поверхности меди. *Хим. физика*. 2004. Т. 23. № 11. С. 23–35.
17. **Abdulla-Al-Mamun M., Kusumoto Y., Muruganandham M.** Simple new synthesis of copper nanoparticles in water/acetonitrile mixed solvent and their characterization. *Mater. Lett.* 2009. V. 63. N 23. P. 2007–2009. DOI: 10.1016/j.matlet.2009.06.037.
18. **Сайкова С.В., Воробьев С.А., Михлин Ю.Л.** Влияние реакционных условий на процесс образования частиц меди (II) водными растворами боргидрида натрия. *Журн. Сибир. Федерал. ун-та. Химия*. 2012. Т. 5. № 1. С. 61–72.
19. **Льсак В.В., Желдакова Р.А.** Микробиология. Минск: БГУ. 2002. 100 с.
20. **Селютин А.А., Колоницкий П.Д., Суходолов Н.Г.** Синтез и характеристика нанорегулярных сорбентов на основе оксида циркония. *Науч. приборостроение*. 2013. Т. 23. № 1. С. 115–122.
17. **Abdulla-Al-Mamun M., Kusumoto Y., Muruganandham M.** New simple synthesis of copper nanoparticles in water/acetonitrile mixed solvent and their characterization. *Mater. Lett.* 2009. V. 63. N 23. P. 2007–2009. DOI: 10.1016/j.matlet.2009.06.037.
18. **Saykova S.V., Vorobyov S.A., Mikhlin Yu.L.** Influence of reaction conditions on process of formation of copper (II) particles by water solutions of a natrium borone. *Zhurn. Sibir. Federal. Un-ta. Khimiya*. 2012. V. 5. N 1. P. 61–72 (in Russian).
19. **Lysak V.V., Zheldakova R.A.** Microbiology: methodical recommendations for laboratory researches and control of students' independent work. Minsk: BGU. 2002. 100 p. (in Russian).
20. **Selyutin A.A., Kolonitsky P.D., Sukhodolov N.G.** Synthesis and characterization of nanoregular sorbents on the basis of zirconium oxide. *Nauch. Priborostroenie*. 2013. V. 23. N 1. P. 115–122 (in Russian).

Поступила в редакцию 19.04.2019

Принята к опубликованию 18.12.2019

Received 19.04.2019

Accepted 18.12.2019