

А.К. Абдигаппар¹ , О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия,

e-mail: kaisarovna@bk.ru

СИНТЕЗ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

Аннотация. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антибиотическими свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине. Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Целью данной работы является получение наночастиц меди различными методами, а также определение размеров наночастиц и их бактерицидной активности. Для получения наночастиц меди использованы три основных подхода: полиольный синтез, сольвотермальный синтез и восстановление в водных растворах. Фазовый состав полученных образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям сканирующего электронного микроскопа. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Escherichia coli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-культуры *Escherichia coli* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют между собой, что говорит об отсутствии агрегации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах.

Ключевые слова: наночастицы, синтез наночастиц, медь, антибактериальные свойства.

Введение.

В последние годы с развитием нанотехнологий возрос интерес к разработке методов синтеза и изучения свойств металлических наночастиц [1, 2]. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антибиотическими свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине [3, 4].

Болезнетворные микроорганизмы, в частности *Escherichia coli* способны длительное время сохраняться во внешней среде, в пресной воде, включая и питьевую воду, в морской воде, а также во всех типах коммунальных и сельскохозяйственных сточных вод. Разработаны композиции на основе интерполимерных комплексов полигексаметиленгуанидин гидрохлорида с натрия карбоксиметилцеллюлозой ПГМГ-НаКМЦ, эффективно используемые против данного вида бактерий [5].

Для получения наночастиц меди предложено использовать три основных подхода полиольный синтез [6-8], сольвотермальный синтез [9, 10], и восстановление в водных растворах [11].

Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Однако, в отличие от серебряных наночастиц, медные обладают очень низкой стабильностью вследствие легкого окисления и поэтому менее исследованы. Для разработки бактерицидных препаратов на основе наночастиц меди требуется пополнение экспериментальных данных об их антибиотической активности.

В этой связи целью данной работы являлось получение наночастиц меди различными методами, а также определение

размеров наночастиц и их бактерицидной активности.

Экспериментальная часть

Методы синтеза наночастиц меди

Получение наночастиц меди проводили в соответствии с методикой, изложенной в [12].

Материалы: хлоридмедицидигидрат ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), аскорбиновая кислота (витамин С), натрийедкий (NaOH , чда), этиленгликоль, этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), вода(H_2O).

Полиольный сольвотермальный синтезы проводили в среде этиленгликоля, который выполнял несколько функций: растворителя, восстановителя, а также стабилизировал поверхность наночастиц, предотвращая ее последующее окисление на воздухе. В качестве исходных реагентов использовали 2.5 мМ и 0.025 М растворы хлорида меди и гидроксида натрия, соответственно.

В первом случае синтез проводили в инертной атмосфере в круглодонной колбе с использованием магнитной мешалки, термодатчика и обратного холодильника. Смесь нагревали до 190°C и выдерживали в течение 30 минут. Отделение частиц проводили после самопроизвольного остывания смеси.

Во втором случае смесь помещали в герметично закрывающийся автоклав, устанавливали его в печь и выдерживали при 200°C также в течении 30 минут. Извлечение смеси из автоклава проводили после его самопроизвольного охлаждения до комнатной температуры.

Синтез наночастиц меди в водной среде проводили путем восстановления аскорбиновой кислотой с использованием магнитной мешалки в круглодонной колбе, оснащенной обратным холодильником. Раствор хлорида меди с концентрацией 0,02 М поместили в круглодонную колбу, нагрели до 80°C и по каплям внесли 0,1 М раствор аскорбиновой кислоты. Полученную реакционную смесь выдержали при 95°C в течение пяти часов, далее частицы отделяли также после самопроизвольного остывания смеси.

Полученные твердые продукты отделяли на центрифуге Sigma 2-16P, несколько

раз промывали этанолом, концентрировали и разделяли на две части. Одну часть высушивали с использованием установки для лиофильного удаления растворителя, другую оставляли в виде концентрированной суспензии наночастиц.

Методы определения фазового состава и размеров наночастиц меди

Фазовый состав образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа(РФА), который проводили в ресурсном центре «Рентгено-дифракционные методы исследования» на дифрактометре Bruker D2 Phaser в диапазоне углов 2θ от 3 до 80 градусов на Cu Кα излучении. Расшифровка дифрактограмм проводилась с помощью картотеки PDF.

Размеры наночастиц меди были определены методом турбидиметрии и с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Турбидиметрический метод основан на измерении ослабления интенсивности светового потока, прошедшего через суспензированный раствор. Для измерения оптической плотности суспензии наночастиц использовали UV-Vis спектрофотометр UNICO. Спектр поглощения суспензии наночастиц регистрировали в кварцевой кювете в диапазоне длин волн 190-1100 нм. Кинетические измерения проводились при длине волны 280-1000нм течении 10минут с шагом в 2 секунды.

Сканирующая (растровая) электронная микроскопия основана на зондировании поверхности изучаемого образца электронным зондом. Сущность метода состоит в том, что поверхность массивного образца облучается тонко сфокусированным (диаметром до 5-10 нм) пучком электронов - так называемым электронным зондом. Пучок электронов совершает возвратно-поступательное движение по линии или развертывается в растр - совокупность близко расположенных параллельных линий, вдоль которых пучок электронов обегает выбранный для исследования участок поверхности.

Исследование образцов методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)проводилось в ресурсном центре

СПбГУ «Геомодель» с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi S3400N (параметры измерений: ускоряющее напряжение 10 кВ, расстояние до образца 10 мм). Размеры частиц измеряли в нм в соответствии с меткой на фотографии, используя программу ImageJ. Распределение по размерам строили в программе Origin 9.0® с использованием данных о размерах не менее 100 частиц. Среднее значение было получено с использованием функции NonlinearFit путем математической обработки экспериментального распределения как логнормального.

Метод исследования антибактериальной активности наночастиц меди

Для определения антагонистической активности образцов наночастиц меди против бактериальных тестовых культур к суспензии тест-микробов *Escherichia coli* концентрацией 10 КОЕ/мл, добавляли мясопептонный агар (МПА) и разливали в чашки Петри. Затем высверливали в плотной питательной среде лунки диаметром 10 мм. В подготовленные лунки закапывали образцы наночастиц меди, разведенные 1 мл дистиллированной воды. Культивировали суспен-

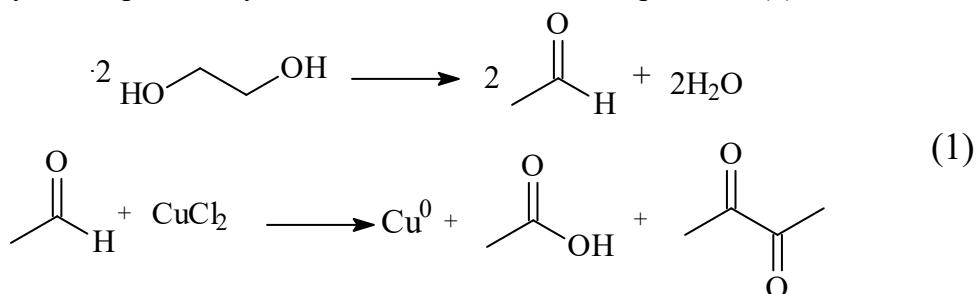
зии тестов при температуре 37°C в течении 1-2 суток. Замеряли диаметр зон подавления роста тест - культуры. Опыты повторяли трижды.

Обсуждение результатов

Интерес к наночастицам меди обусловлен их бактерицидными и antimикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на основе наночастиц меди в медицине для угнетения патогенных бактерий, обеззараживания, разработке антибактериальных препаратов [13-15]. Для получения наночастиц меди химическими методами, основанные на реакциях восстановления, являются наиболее перспективными.

Для получения медных наночастиц использовали полиольный синтез, сольватермальный синтез и реакцию восстановления Cu^{2+} с использованием в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты.

В процессе полиольного (образец pCu) и сольватермального (образец sCu) синтеза восстановителем меди из окисленной формы Cu^{2+} в Cu^0 является этиленгликоль. На основании [16] можно предложить следующий механизм реакции (1):



который заключается в активации этиленгликоля гидроксид-ионами с образованием ацетальдегида, который далее окисляется ионами меди до уксусной кислоты и диметилглиоксала.

По сравнению с полиольным методом, сольватермальный синтез проводится в более жестких условиях (при повышенном давлении в герметичном автоклаве), что потенциально может привести к образованию более крупных наночастиц с высокой степенью кристалличности. При синтезе в водной среде (образец aCu) ионы меди восстанавливаются до металла за счет взаимодействия с аскорбиновой кис-

лотой, которая в ходе реакции переходит в дегидроаскорбиновую кислоту. Одной из возможных проблем при получении легко окисляющихся частиц в водных растворах является сложность процесса восстановления. В связи с этим, длительное выдерживание реакционной среды при нагревании было направлено на максимально полное протекание реакции восстановления.

Морфология полученных образцов была изучена методами рентгенофазового анализа (РФА), турбидиметрии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Рентгенограммы полученных образцов представлены на рис. 1.

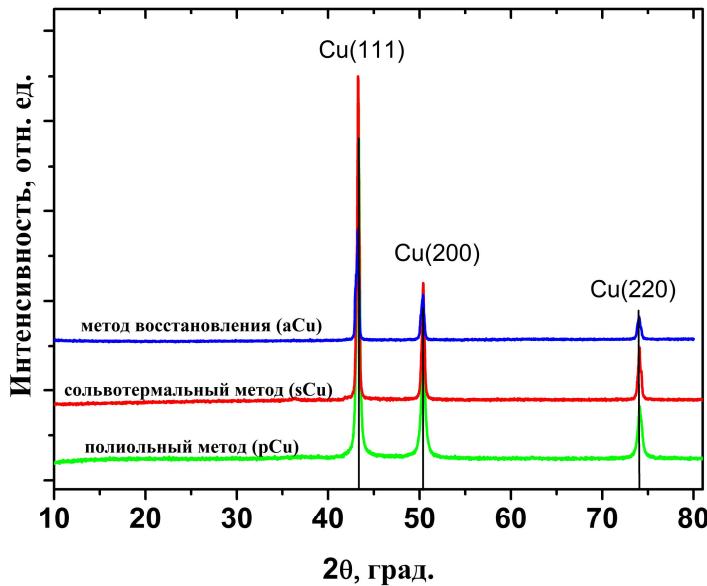


Рисунок 1 – Рентгенограммы полученных образцов наночастиц меди

Для идентификации исследуемого образца на рентгенограмме фиксировали наиболее интенсивные пики, для которых отмечали углы 2θ и интенсивности. Значения этих параметров сравнивали с табличными данными в базе картотеки PDF-2. Было выявлено, что все образцы представляют собой медь кубической сингонии (карточка PDF 03-065-9026 Cu) без примесей.

Отметим, что для всех образцов зафиксировано наличие высококристалличного продукта, при этом уширение линий указывает на то, что полученные частицы имеют наноразмеры.

В настоящее время электронная микроскопия является основным прямым методом исследования строенияnanoструктур и микроструктуры материалов, получения разнообразной информации о внутренней структуре любого объекта в конденсированном состоянии: строении, упорядочении, дефектности; дает возможность проводить оценку дисперсности, среднего размера, протяженности границ, формы и других параметров структуры материалов [17].

Для более точного определения размеров наночастиц использовали сканирующий электронный микроскоп СЭМ. Полученные микрофотографии и рассчитанные распределения по размерам представлены на рис. 2. В связи с наличием нескольких фрак-

ций расчет размеров для образца aCu не проводился. Для образца, полученного из водного раствора, наблюдается существование как минимум трех фракций – «мелких» сферических частиц, вытянутых проводов и «крупных» образований, в то время как для полиольного и сольвотермального образцов зафиксировано наличие только сферических частиц. Отметим также, что в случае образца sCu частицы образуют связанную структуру, вероятно, вызванную особенностями их формирования под давлением, аналогично изложенному в [12].

Наблюдаемые различия в форме и размерах частиц схематично представлены на рисунке. Таким образом, можно резюмировать, что в водном растворе частицы имеют тенденцию к формированию вытянутых структур, вероятно, за счет медленного протекания процесса восстановления. В более жестких условиях и при быстром формировании зародышей за счет быстрого исчерпания исходных реагентов образуются сферические частицы.

Для определения размеров частиц, полученных в растворах образцы исследовали турбидиметрическим методом. Для измерения рассеянного света частицами меди требуется обеспечить малую оптическую плотность образца и соблюдать линейную зависимость оптической плотности от длины

волны. С использованием линейной зависимости $\lg D$ от $\lg \lambda$ были определены значения среднего размера наночастиц для образцов pCu и sCu (таблица 1). Средний размер наночастиц образца aCu этим методом определить не удалось, так как, по-видимому, ди-

метр частиц образца превышает 1/3 длины волны, и использовать уравнение Геллера для описания рассеяния света в такой системе не удается [18].

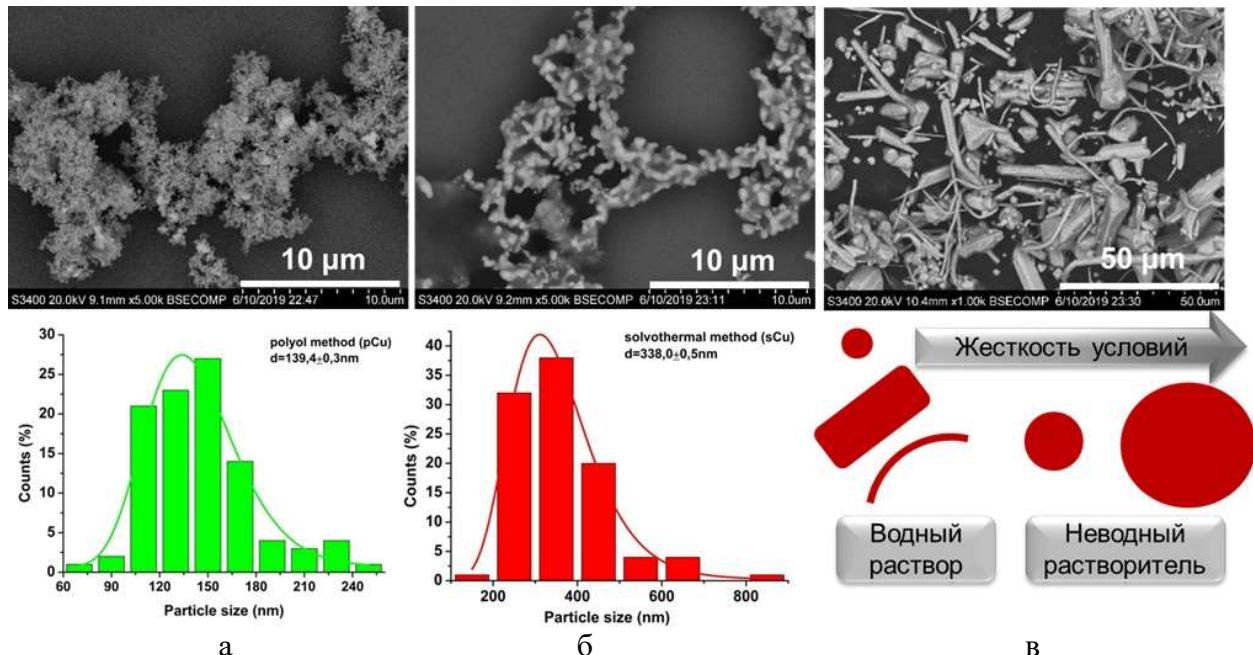


Рисунок 2 -Микрофотографии образцов наночастиц меди рассчитанные распределения по размерам pCu70 (а), sCu70 (б), aCu70 (в)

В таблице 1 приведены данные размеров образцов наночастиц меди, определенных с помощью турбидиметрического

метода и методом сканирующей электронной микроскопии.

Таблица 1 - Размеры медных частиц, полученными различными методами

Образец	Турбидиметрический метод	СЭМ
pCu (полиольный синтез)	199 нм	139.4 ± 0.3 нм
sCu (сolvothermalный синтез)	363 нм	338.0 ± 0.6 нм
aCu реакция восстановления аскорбиновой кислотой)	Не применимо	длина 8.97 ± 0.49 мкм толщина 0.91 ± 0.54 мкм

В связи с тем, что образец aCu состоит из частиц различной формы, размеры которых лежат в области микрогетеронности, в данном случае метод турбидиметрии не применим.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, существует погрешность в определении размеров наночастиц меди турбидиметрическим методом, которая соответствует превышению размеров на 43% для образца pCu на 7% для образца sCu относительно метода СЭМ. Таким образом, можно

резюмировать, что этот метод подходит для только приблизительной оценки размеров наночастиц и может быть использован, когда точная оценка размеров не требуется.

Тем не менее, определенные обоими методами значения лежат в одном размерном интервале. Это указывает на то, что наночастицы меди в растворе являются хорошо стабилизованными, индивидуальными и не формируют агломератов.

Антибактериальную активность частиц меди всех образцов определяли по спо-

собности влиять на рост грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* (рисунок 3) на мясо-пептонном бульоне (таблица 2).

Как видно из данных рисунка 5 и таблицы 2 диаметр зон подавления роста бактерий варьируется от $11,7 \pm 0,5$ мм до $16,3 \pm 0,5$ мм. Наиболее высокая противобактериальная активность по подавлению роста культур *Escherichiacoli* проявили образцы pCu и sCu, что по-видимому связано с величиной размеров частиц исследуемых образцов. Образец aCu проявил меньшую антимикробную активность, зоны подавления роста бактерий

альной культуры менее четкие. Этот вывод согласуется с представлением о том, что наибольшее бактерицидное действие оказывают наночастицы небольшого размера [19, 20]. Чем больше удельная поверхность и меньше размер наночастиц, тем быстрее они проникают через клеточную мембрану бактерий, тем самым разрушая их. Наночастицы с большим соотношением поверхности к объему дают возможность разрабатывать эффективные средства с антибактериальной активностью.

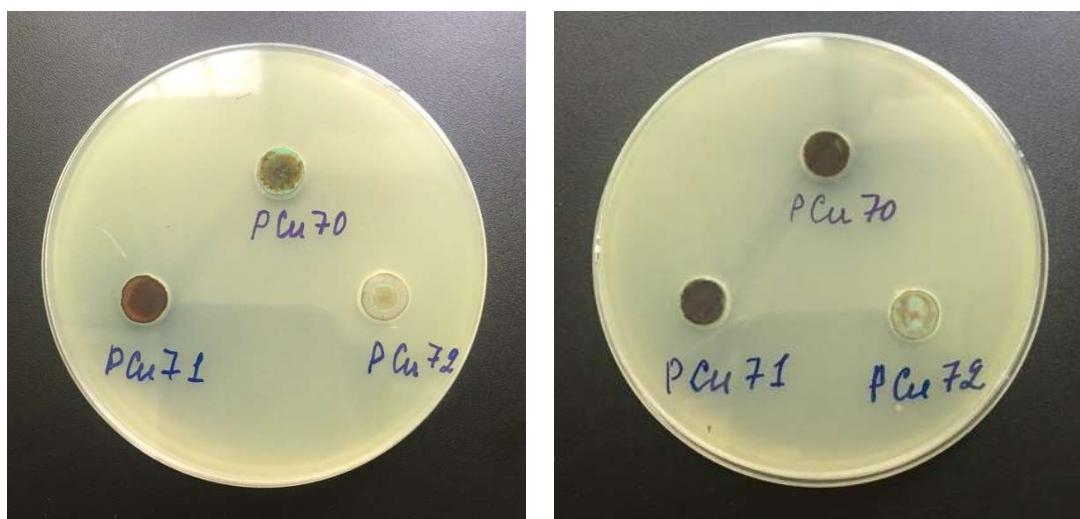


Рисунок 3 – Антагонистическая активность образцов меди против тест культуры *Escherichiacoli*, PCu70 соответствует образцу pCu, PCu71 соответствует образцу sCu и PCu72 соответствует образцу aCu

Таблица – 2. Результаты испытания антибактериальной активности комплексов частиц медив отношении кишечной палочки *Escherichia coli* (10^5 КОЕ/мл),

Тест культура	Образцы		
	pCu	sCu	aCu
<i>Escherichia coli</i>	(16,16,17) $16,3 \pm 0,5$	(15,16,15) $15,3 \pm 0,5$	(11,12,11) $11,7 \pm 0,5$

Заключение

Получены образцы наночастиц меди методами полиольного, сольвотермального синтеза и частицы микронного размера с использованием реакции восстановления меди аскорбиновой кислотой. Показано, что всеми методами получена чистая фаза меди. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям СЭМ. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют между собой, что говорит об отсутствии аг-

ломерации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Escherichiacoli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-культуры *Escherichiacoli* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц.

Благодарности

Исследование было выполнено на базе ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Геомодель», рентгенодифракционные методы исследования в ресурсном центре «Рентгено-дифракционные методы исследования», микрофотографии сканирующей электронной микроскопии были получены в ресурсном центре «Инновационные технологии композитных наноматериалов»

Список литературы

1. Shikha Jain, Ankita Jain, Pranav Kachhawan, Vijay Devra. Synthesis and size control of copper nanoparticles and their catalytic application // Nonferrous Met. Soc. China. – 2015, V. 25, P.3995–4000
2. Camacho-Flores B.A., Martínez-Álvarez O., Arenas-Arrocena M.C., Garcia-Contreras R., Argueta-Figueroa L., Fuente-Hernández J., Acosta-Torres L.S. Copper: Synthesis Techniques in Nanoscale and Powerful Application as an Antimicrobial Agent // Journal of Nanomaterials. - 2015, Article ID 415238, 10 pages
3. Midander K., Wallinder I.O., Leygraf C. In vitro studies of copper release from powder particles in synthetic biological media // Environmental Pollution. - 2007, V.145, P.51-59.
4. Hostynek J.J., Maibach H.I. Copper hypersensitivity: dermatologic aspects-an overview // Reviews on Environmental Health. – 2003, V.18(3), P.153-183.
5. Ospanova Z., Adilbekova A., Musabekov K., Tulegenova G. Bactericidal compositions based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride // Chemical Bulletin of Kazakh National University. – 2014, №1, P. 33-39.
6. Bong K.P., Sunho J., Dongjo K., Jooho M., Soonkwon L., Jang S.K. Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007, V. 311 (2), P. 417- 424
7. SanthoshkumarMahadevan, Alok P.S. Chauhan. Investigation of synthesized nanosized copper by polyol technique with graphite powder // Advanced Powder Technology. – 2016, V. 27, (4), P. 1852-1856
8. Yu Zhang, Chengqiang Cui, Bin Yang, Kai Zhang, Pengli Zhu, Gang Li, Rong Sun, Ching-ping Wong. Size-controllable copper nanomaterials for flexible printed electronics // J Mater Sci. –2018, V.53, P.12988–12995
9. Yanjuan Liu, Xiaowei Liu, Yongjie Zhan, Haiming Fan, Yang Lu. Copper nanocoils synthesized through solvothermal method // J. Am. Chem. Soc. - 2005, V. 127 (9), P.2822-2823
10. Tavakolia H., Sarraf-Mamoorya R., Zareic A.R. Solvothermal Synthesis of Copper Nanoparticles Loaded on Multi-wall Carbon Nanotubes as Catalyst for Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate // Journal of Advanced Materials and Processing. - 2015, V.3, № 2, P. 3-10
11. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К. Химические способы получения наночастиц меди // Бутлеровские сообщения.–2014, V.37, №2, P.103-113.
12. Osmolovskaya O. M. Yu. V. Petukhova, A. A. Podurets, E. A. Syukkalova, V. V. Suslonov, D. S. Kolokolov, S. V. Kotel'nikova, N. P. Bobrysheva & M. G. Approaches to the Control of Morphological Parameters of Inorganic Nanoparticles in the Synthesis from Solutions// Russian Journal of General Chemistry– 2019, V. 89, P.1154–1161
13. Tamayo L.A., Zapata P.A., Rabagliati F.M., Azócar M.I., Muñoz L.A., Zhou X., Thompson G.E., Páez M.A. Antibacterial and non-cytotoxic effect of nanocomposites based in polyethylene and copper nanoparticles // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. -2015, V.26(3):129
14. Shiv Shankar, XinnanTeng, Jong-WhanRhim. Properties and characterization of agar/CuNPbionanocomposite films prepared with different copper salts and reducing agents // Carbohydrate Polymers. – 2014, V.114, P.484-492
15. Gunawan C., Teoh W. Y., Marquis C. P., Amal R. Cytotoxic origin of copper (II) oxide nanoparticles: comparative studies with micron-sized particles, leachate, and metal salts // ACS Nano. – 2011. – V.5. – P.7214–7225.
16. Chang Woo Kim, Hyun Gil Cha, Young Hwan Kim, Abhijit P. Jadhav, Eun Sun Ji, Dong In Kang, Young Soo KangSurface Investigation and Magnetic Behavior of Co Nanoparticles Prepared via a Surfactant-Mediated Polyol Pro-

- cess //J. Phys. Chem. C. - 2009, V.113, (13), P. 5081-5086
17. Кузнецов Д.К., Колесов В.Ю. Исследование наноматериалов методами сканирующей электронной микроскопии / Екатеринбург: Уральский государственный университет им. А.М. Горького, ИОНЦ "Нанотехнологии и перспективные материалы", 2008. - 17 с.
18. Копунова Г.А. и др. Аналитическая химия. Лабораторные работы. Учеб.- метод. пособие по направлению подготовки «Стандрартизация и метрология» / М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса. - 2012. - 15 с.
19. Надточенко В.А., Радциг М.А., Хмель И.А. Антимикробное действие наночастиц металлов и полупроводников // Российские Нанотехнологии. - 2010, Т.5, № (5–6), С.37–46
20. JeyaramanRamyadevi, KadarakaithangamJeyasubramanian, ArumugamMarikani, GovindasamyRajakumar, Abdul Rahumanc. Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticles // Materials Letters. – 2012, V. 71, (15), P. 114-116

А.Қ. Абдигаппар¹, О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: kaisarovna@bk.ru

СИНТЕЗ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

Аннотация. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине. Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Целью данной работы является получение наночастиц меди различными методами, а также определение размеров наночастиц и их бактерицидной активности. Для получения наночастиц меди использованы три основных подхода: полиольный синтез, сольвотермальный синтез и восстановление в водных растворах. Фазовый состав полученных образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям сканирующего электронного микроскопа. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Esherichia coli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-культуры *Esherichia coli* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют между собой, что говорит об отсутствии агломерации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах.

Ключевые слова: наночастицы, синтез наночастиц, медь, антибактериальные свойства.

A.К. Абдигаппар¹, О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹*Әл -Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті, 050040, Алматы, Қазақстан*

²*Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, 199034, Санкт-Петербург, Ресей*

e-mail: kaisarovna@bk.ru

МЫС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ СИНТЕЗІ МЕН АНТИБАКТЕРИАЛДЫҚ ҚАСИЕТІ

Аннотация. Мыс нанобөлшектеріне қызығушылық оның бактерицидтік және микробқа қарсы қасиеттеріне байланысты, бұл оған негізделген материалдарды биология мен медицина да қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеулерді талдау мыс нанобөлшектердің бактерицидтік белсенділігін олардың арзан және қоршаған ортаға қауіпті болуына байланысты пайдалану мүмкіндігін көрсетеді. Жұмыстың негізгі және басты мақсаты мыс нанобөлшектерін әр түрлі эксперименталдық әдіспен алу, сонымен қатар, нанобөлшектердің өлшемі мен антибактериалды қасиеттерін жан - жақты анықтау болып табылды. Мыс нанобөлшектерін алу үшін үш түрлі әдіс: полиольды синтез, сольвотермальды синтез және сулы ерітінділерде тотықсыздандыру қолданылды. Үлгілердің фазалық құрамы рентгенофазалық талдау көмегімен анықталды. Мыс бөлшектерінің өлшемдері екі түрлі әдіспен: турбидиметриялық және сканерлеуші электрондық микроскоп микросуреттері арқылы анықталды. Полиольды және сольвотермальды әдіспен алынған мыс нанобөлшектері *Esherichia coli* штаммдарына ең үлкен антибактериалды белсенділік көрсетті. Жүргізілген зерттеу барысында, *Esherichia coli* бактериалды тест-жиынтығына нанобөлшектердің әсерінен олардың антибактериалды қасиетінің нанобөлшек өлшеміне тәуелділігі болатыны анықталды. Екі әдіспен алынған бөлшектердің өлшемдері бір-бірімен сәйкес келетіні көрсетілді, бұл ерітіндіде бөлшектер агломерациясының жоқтығын көрсетеді. Бұл алынған бөлшектерді әр түрлі ортада қолдануға болашағы зор екендігін көрсетеді.

Кілт сөздер: нанобөлшектер, синтез, мыс, антибактериалдық қасиеттер

A.K. Abdigappar¹, O.M. Osmolovskaya², Zh.B. Ospanova¹

¹*Al - Farabi Kazakh National University, 050040, Almaty, Kazakhstan*

²*St. Petersburg State University, 199034, St. Petersburg, Russia*

e-mail: kaisarovna@bk.ru

SYNTHESIS OF CU NANOPARTICLES AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES

Annotation. Interest in copper nanoparticles is due to its bactericidal and antimicrobial properties, which allows the use of materials based on it in biology and medicine. Analysis of the studies shows the promise of using the bactericidal activity of copper nanoparticles due to their low cost and relatively low environmental hazard. The aim of this work was to obtain copper nanoparticles by various methods, as well as determining the size of nanoparticles and their bactericidal activity. To obtain copper nanoparticles, three main approaches were used: polyol synthesis, solvothermal synthesis, and reduction in aqueous solutions. The phase composition of the samples was determined using x-ray phase analysis. The particle sizes of copper were determined by two methods: turbidimetric and SEM micrographs. The highest antibacterial activity on strains of *Esherichia coli* was shown by copper nanoparticles obtained using the polyol method and the solvothermal method. During the studies, it was revealed that when nanoparticles are exposed to the bacterial test cultures of *Esherichia coli*, their antibacterial properties depend on the size of the nanoparticles.

Keywords: nanoparticles, synthesis of nanoparticles, copper, antibacterial properties.