Оригинальная статья / Original article

УДК 538.93:544.145:544.012
https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-168-179

CC BY 4.0

# Характеризация наночастиц меди, полученных в обратных мицеллах АОТ с использованием флавоноидов в качестве восстановителя

**Джавид Рашиди,[1] Л. С. Агеева[2] ✉, Е. А. Фатьянова[2], Н. А. Борщ[2]**

[1] Фарахский государственный университет
г. Фарах, Афганистан

[2] Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: millfi@yandex.ru

## Резюме

***Цель исследования.*** *Провести характеризацию наночастиц меди, получаемых в обратных мицеллах бис-(2-этилгексил)-сульфосукцината натрия (АОТ) с использованием флавоноидов: кверцетина и рутина в сравнении с традиционными восстановителями – боргидридом натрия и гидразином.*
***Методы.*** *Химический синтез наночастиц меди, спектрофотометрия для определения максимума плазмонной полосы поглощения наночастиц меди, электронная просвечивающая микроскопия.*
***Результаты.*** *Восстановлением ионов меди с использованием флавоноидов – кверцетина и рутина - подтверждена возможность получения наночастиц меди в системе $Cu^{+2}$/АОТ/изооктан (АОТ – бис-(2-этилгексил)-сульфосукцинат натрия, анионный ПАВ, образующий оболочку мицеллы). При образовании наночастиц наблюдали в электронных спектрах в области 400–440 нм «плазмонные» полосы поглощения. В случае традиционного восстановителя, боргидрида натрия, наблюдается поглощение в области (439±3) нм, которое также можно отнести к «плазмонной полосе» наночастиц меди, однако ее интенсивность очень мала, что свидетельствует об образовании небольшого количества наночастиц меди. Методом просвечивающей электронной микроскопии определен средний размер наночастиц меди: 7,1, 8,2 и 18,5 нм в случае кверцетина, рутина и гидразина соответственно. Из гистограмм, построенных по результатам электронной просвечивающей микроскопии, следует, что использование флавоноидов в качестве восстановителей позволяет снизить средний размер наночастиц меди и сузить их распределение по размерам.*
***Заключение.*** *Наночастицы меди, получаемые в обратномицеллярном растворе АОТ в изооктане с использованием флавоноидов кверцетина и рутина в качестве восстановителя, имеют средний размер 7-8 нм и более узкое распределение по размерам по сравнению с восстановлением гидразином.*

***Ключевые слова:*** *наночастицы; медь; флавоноиды; кверцетин; рутин; обратные мицеллы.*

***Конфликт интересов:*** *Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.*

© Джавид Рашиди, Агеева Л. С., Фатьянова Е. А., Борщ Н. А., 2024

***Для цитирования:*** Джавид Рашиди, Агеева Л. С., Фатьянова Е. А., Борщ Н. А. Характеризация наночастиц меди, полученных в обратных мицеллах АОТ с использованием флавоноидов в качестве восстановителя // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 2. С. 168–179. https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-168-179

*Поступила в редакцию 30.03.2024* *Подписана в печать 08.05.2024* *Опубликована 17.06.2024*

# Characterization of Copper nanoparticles obtained in AOT reverse micelles using flavonoids as a reducing agent

**Javid Rashidi[1], Liliy S. Ageeva[2] ✉, Elena A. Fatyanova[2], Nikolay A. Borsch[2]**

[2.] Farah State University
Farah, Afghanistan

[1] Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: liliya-ageeva-als@yandex.ru

## Abstract

***Purpose of the study.*** *To characterize copper nanoparticles obtained in reverse micelles of sodium bis-(2-ethylhexyl)-sulfosuccinate (AOT) using flavonoids: quercetin and rutin in comparison with traditional reducing agents - sodium borohydride and hydrazine.*

***Methods.*** *Chemical synthesis of copper nanoparticles, spectrophotometry to determine the maximum of the plasmon absorption band of copper nanoparticles, electron transmission microscopy.*

***Results.*** *The reduction of copper ions using flavonoids – quercetin and rutin – confirmed the possibility of obtaining copper nanoparticles in the $Cu^{+2}$/AOT/isooctane system (AOT is sodium bis-(2-ethylhexyl)-sulfosuccinate, an anionic surfactant that forms the micelle shell). During the formation of nanoparticles, "plasmonic" absorption bands were observed in the electronic spectra in the region of 400-440 nm. In the case of the traditional reducing agent, sodium borohydride, absorption is observed in the region of (439 ± 3) nm, which can also be attributed to the "plasmonic band" of copper nanoparticles, but its intensity is very low, which indicates the formation of a small amount of copper nanoparticles. Using transmission electron microscopy. The average size of copper nanoparticles was determined: 7.1, 8.2 and 18.5 nm in the case of quercetin, rutin and hydrazine, respectively. From the histograms constructed from the results of electron transmission microscopy, it follows that the use of flavonoids as reducing agents makes it possible to reduce the average size of copper nanoparticles and narrow their size distribution.*

***Conclusion.*** *Copper nanoparticles obtained in a reverse micellar solution of AOT in iso-octane using the flavonoids quercetin and rutin as a reducing agent have an average size of 7-8 nm and a narrower size distribution compared to reduction with hydrazine.*

***Keywords:*** *nanoparticles; copper; flavonoids; quercetin; rutin; reverse micelles.*

***Conflict of interest:*** *The authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

***For citation:*** Javid Rashidi, Ageeva L. S., Fatyanova E. A., Borsch N. A. Characterization of Copper nanoparticles obtained in aot reverse micelles using flavonoids as a reducing agent. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2024;14(2):168–179. (In Russ.) https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-2-168-179

*Received 30.03.2024* *Accepted 08.05.2024* *Published 17.06.2024*

***

## Введение

Новые технологии получения наночастиц металлов и их соединений позволяют создавать наноразмерные функциональные материалы для промышленности: наномагнетит для сбора нефти [1], наноматериалы из водных растворов отходов гидрометаллургии [2; 3; 4], углеродные нановолокна на нанониkелевом катализаторе [5], наночастицы висмута для оптоволокна [6], нанокатализаторы на пористом металлооксидном носителе для окисления углеводов и регенерации автомобильных катализаторов [7; 8], дисперсии наносеребра для новых наноматериалов [9]; для медицины [10; 11; 12], сельского хозяйства [13; 14; 15]. Одним из перспективных направлений таких технологий является химический синтез с использованием реакций восстановления ионов металлов [16; 17; 18] и реакций осаждения для получения наночастиц оксидов и гидрооксидов металлов в мицеллярных растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) [19; 20; 21], а также золь-методом [22]. В частности, наночастицы металлов и их соединений можно получать в прямых [17; 18; 23] или обратных мицеллах, где реакции восстановления или осаждения ионов металлов с образованием наночастиц протекают в водном пуле (ядре) мицеллы, состоящей из молекул ПАВ [9; 24]. В этом случае выбор восстановителя является одним из основных факторов, влияющих на процесс образования наночастиц, от которых зависит их форма и распределение по размерам. В качестве восстановителя, как правило, выбирают традиционно неорганические (например, гидразин, боргидрид) или органические: цитраты, аскорбиновая кислота, глюкоза, экстракты растений и др. В этой работе использованы ранее исследованные восстановители из класса флавоноидов [25; 26]: кверцетин и рутин в сравнении с боргидридом и гидразином с целью характеризации получаемых наночастиц меди по размеру для выбора оптимальных условий синтеза.

## Материалы и методы

В качестве основных реагентов использовали кверцетин (3,3',4',5,7-пентагидроксифлавон) и рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) фирмы Sigma Aldrich (США), бис-(2-этилгексил)-сульфосукцинат натрия (АОТ) фирмы Sisco Research Laboratories (Индия), изооктан эталонный по ГОСТ 12433-83 (Альдоса, РФ), боргидрид натрия (х. ч., Вектон), гидразин-гидрат (100%, Clearsynth, Индия), тригидрат нитрата меди $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ по ТУ 2622-003-62931140-2015 (Ленреактив, РФ), а также бидистиллированную воду, получаемую на двухкаскадном лабораторном дистилляторе.

В ходе синтеза наночастиц использовали ультразвуковой диспергатор УЗДН IУ4.2 с рабочей частотой излучателя и генератора 22 и 44 кГц. Оптические спектры коллоидов наночастиц меди и «холостого опыта» регистрировали на спектрофотометре Лямбда-3 фирмы «Перкин Элмер». Размер и форму наночастиц определяли на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM-1011 (напряжение 100 кВ, универсальный программный пакет "ImageJ" для обработки изображений).

## Результаты и их обсуждение

Наночастицы меди получали с использованием мицеллярных растворов нитрата меди и восстановителей в системе $Cu^{+2}$/АОТ/изооктан. Для этого в случае флавоноидов готовили две обратномицеллярные дисперсии в стаканчиках вместимостью 50 мл:

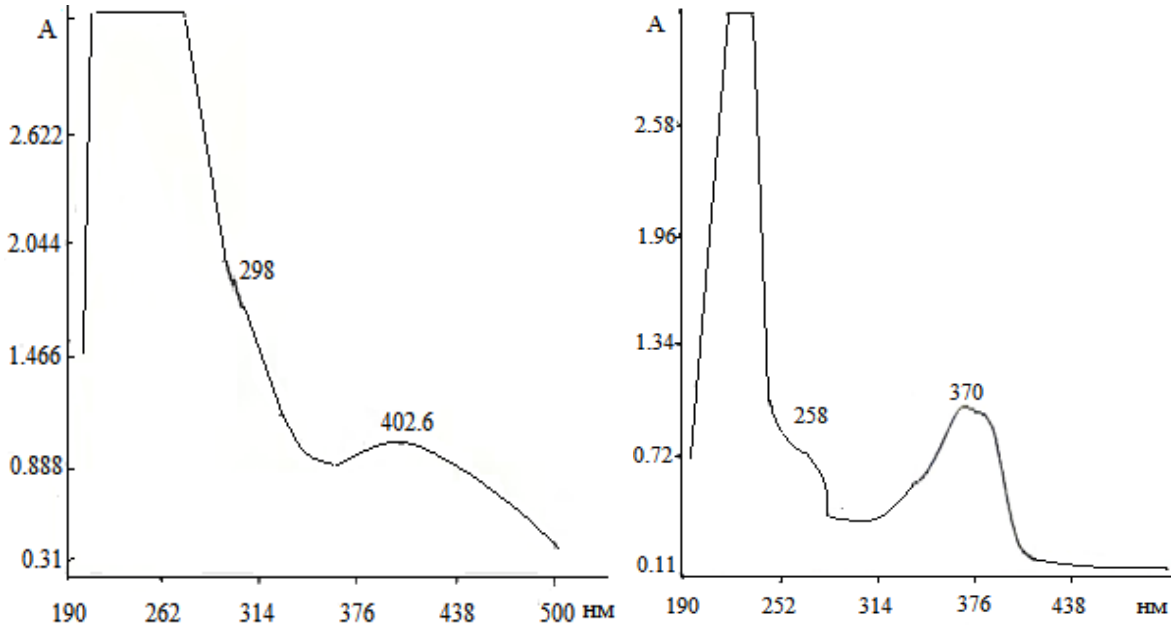
1) добавлением к 30 мл изооктана 0,6 мл $H_2O$, 1,35 г АОТ и 0,075 г флавоноида (кверцетина или рутина);

2) добавлением к 29,4 мл изооктана 1,35 г АОТ и 0,6 мл 0,13 М водного раствора $Cu(NO_3)_2$.

Далее смешивали по 10 мл раствора 1 и 2 в пробирке вместимостью 20 мл, помещали ее в трубчатый излучатель ультразвукового диспергатора УЗДН IУ4.2 и диспергировали в течение 20 минут. В итоге получали в случае кверцетина мутный раствор красноватого цвета, который осветлялся в течение суток, в случае рутина – прозрачный раствор красно-коричневого цвета. Оптические спектры растворов приведены, соответственно, на рисунках 1 и 2.

Для оценки эффективности использования флавоноидов в качестве восстановителей в аналогичных условиях проведен синтез наночастиц меди с использованием традиционных восстановителей – боргидрида натрия и гидразина. В случае боргидрида натрия получали прозрачный раствор, оптический спектр которого приведен на рисунке 3.

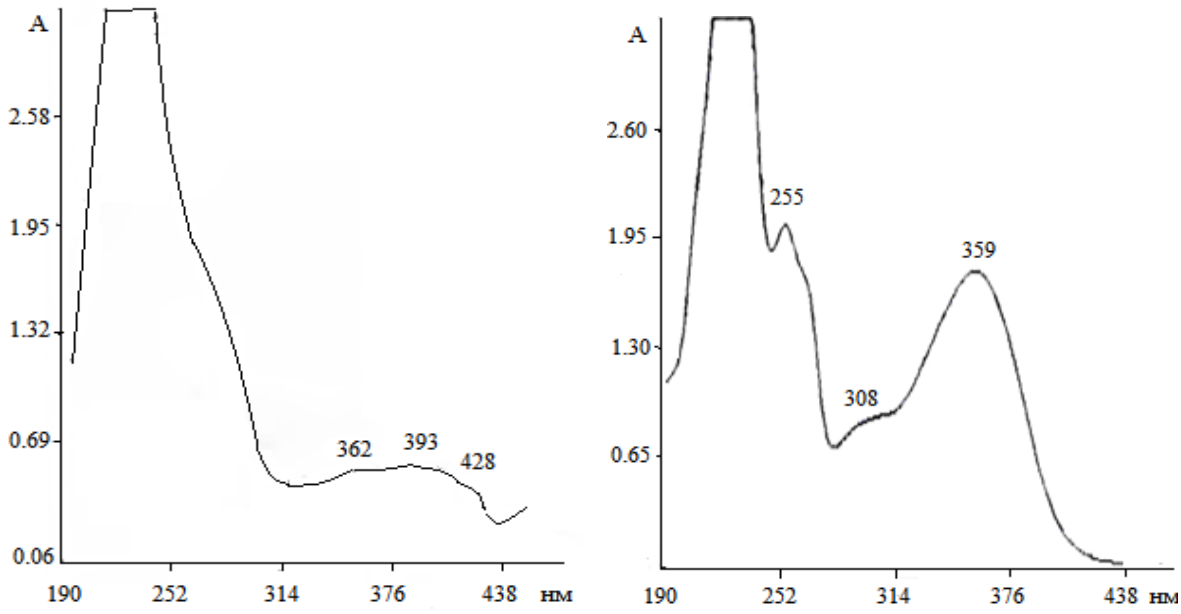
Из анализа полученных результатов следует, что в оптическом спектре обратномицеллярной дисперсии с кверцетином (рис. 1) имеет место «плазмонное» светопоглощение наночастицами меди в области (402±6) нм, которое отсутствует в «холостом опыте». В мицеллярном растворе с рутином также присутствуют две полосы поглощения при (393±3) и (428±3) нм (см. рис. 2), что свидетельствует, возможно, об образовании наночастиц меди с разным распределением наночастиц по размерам. В случае традиционного восстановителя – боргидрида натрия наблюдается поглощение в области (439±3) нм, которое также можно отнести к «плазмонной полосе» наночастиц меди [26], однако ее интенсивность очень мала, что свидетельствует об образовании небольшого количества наночастиц меди.




а б

**Рис. 1.** Оптические спектры поглощения наночастиц меди в мицеллярном растворе Cu/АОТ/изооктан/кверцетин (а) и мицеллярного раствора АОТ/изооктан/кверцетин (б) в качестве «холостого опыта»

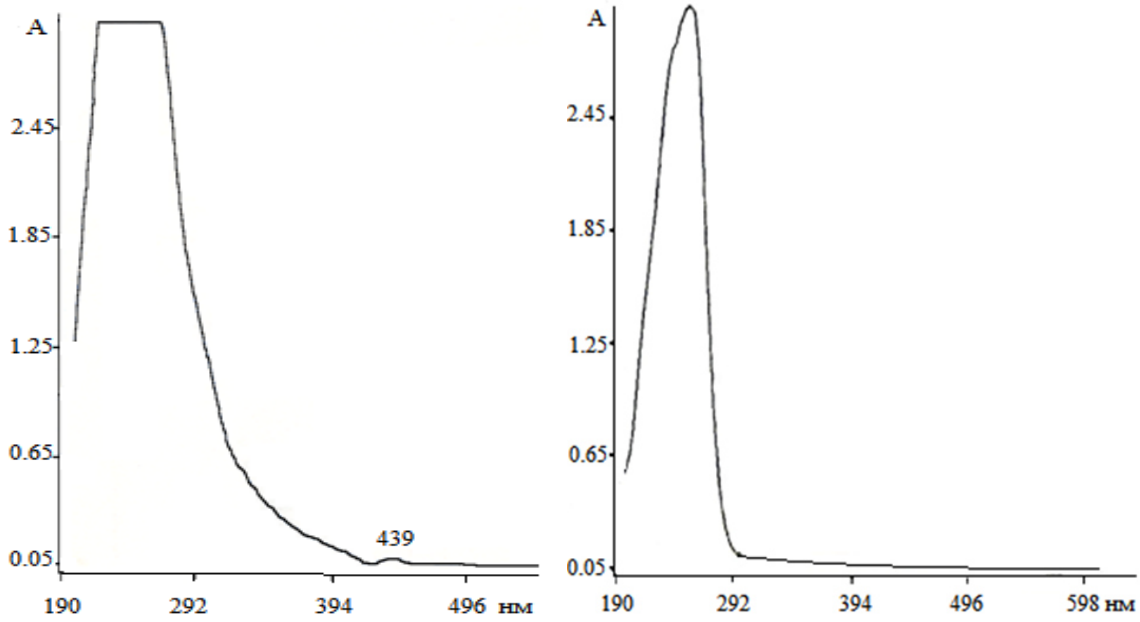
**Fig. 1.** Optical absorption spectra of copper nanoparticles in a micellar solution of Cu/AOT/isooctane/quercetin (a) and a micellar solution of AOT/isooctane/quercetin (б) as a “blank experiment”




а б

**Рис. 2.** Оптические спектры поглощения наночастиц меди в мицеллярном растворе Cu/AOT/изооктан/рутин (а) и мицеллярного раствора AOT/изооктан/рутин (б) в качестве «холостого опыта»

**Fig. 2.** Optical absorption spectra of copper nanoparticles in a micellar solution of Cu/AOT/isooctane/rutin (a) and a micellar solution of AOT/isooctane/rutin (б) as a “blank experiment”




а б

**Рис. 3.** Оптические спектры поглощения наночастиц меди в мицеллярном растворе Cu/AOT/изооктан/боргидрид натрия (а) и мицеллярного раствора AOT/изооктан/боргидрид натрия (б) в качестве «холостого опыта»

**Fig. 3.** Optical absorption spectra of copper nanoparticles in a micellar solution of Cu/AOT/isooctane/sodium borohydride (a) and a micellar solution of AOT/isooctane/sodium borohydride (б) as a “blank experiment”

Образование наночастиц меди подтверждено методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), позволяющим оценить диаметр и гранулометрический состав наночастиц. На рисунках 4, 5 приведены соответствующие гистограммы.

Видно, что средний диаметр наночастиц при использовании в качестве восстановителя кверцетина и рутина составил соответственно 7,1 и 8,2 нм, в то время как в случае гидразина 18,5 нм.

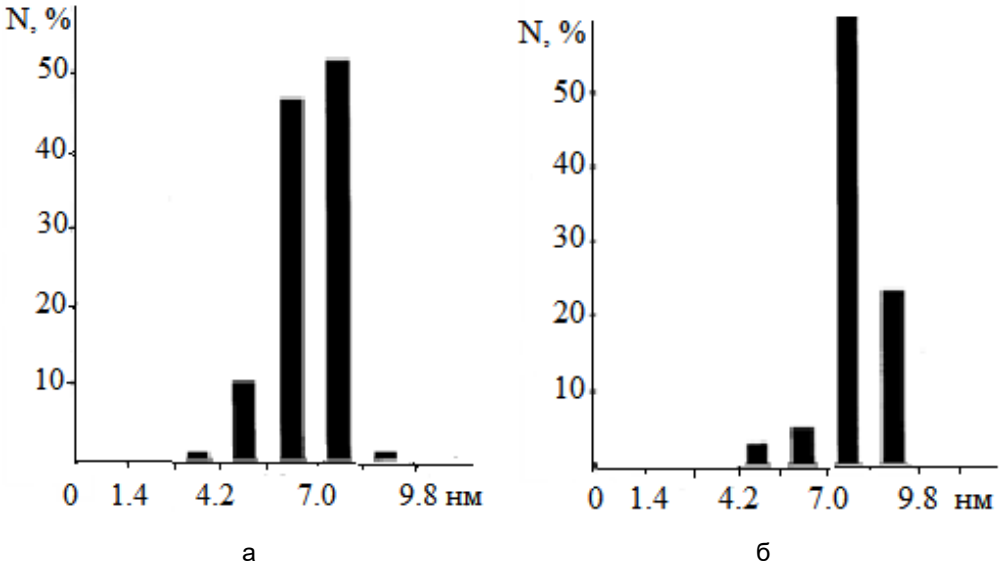



**Рис. 4.** Гистограмма распределения наночастиц меди по размеру при использовании в качестве восстановителя кверцетина (а) и рутина (б)

**Fig. 4.** Histogram of copper nanoparticle size distribution when using quercetin (a) and rutin (б) as a reducing agent

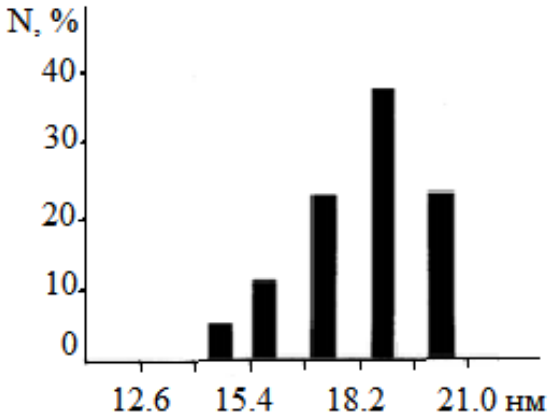



**Рис. 5.** Гистограмма распределения наночастиц меди по размеру при использовании гидразина в качестве восстановителя

**Fig. 5.** Histogram of copper nanoparticle size distribution as a reducing agent when using hydrazine

Использование обратных мицелл ПАВ для синтеза наночастиц металлов и их соединений обусловлено, прежде всего, тем, что они представляют собой своеобразные «химические реакторы молекулярного масштаба». Обратные мицеллы условно можно представить в виде капель воды в углеводороде (рис. 6).

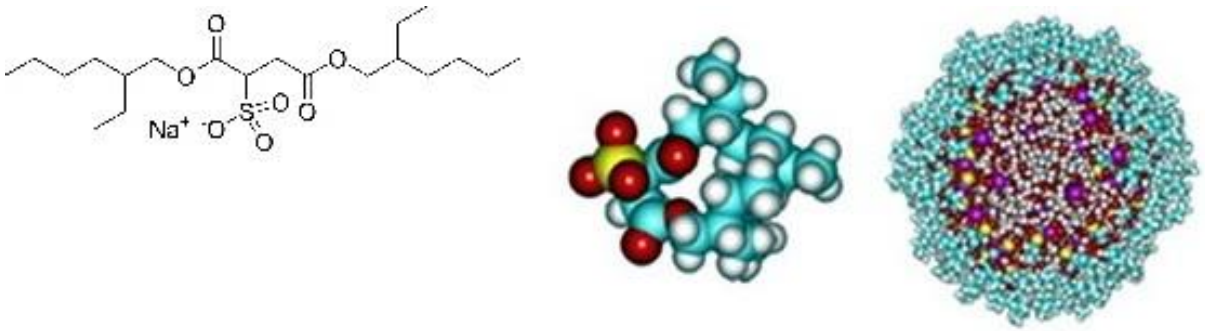


**Рис. 6.** Структура обратной сферической мицеллы (разрез) и молекулы АОТ

**Fig. 6.** Structure of a reverse spherical micelle (section) and an AOT molecule

При столкновении капли обмениваются водным содержимым с последующим формированием двух независимых капель. Этот процесс можно использовать для получения наноразмерного материала либо восстановлением металлических ионов, либо другой химической реакцией с образованием нерастворимого соединения. Размер и форма образующихся при этом наночастиц ограничены геометрическими параметрами полярной нанополости («водного пула») мицелл, зависящими от содержания водной псевдофазы, определяемой степенью гидратации w = [$H_2O$]/[ПАВ].

Особенно предпочтительна для получения наночастиц металлов тройная система «вода – АОТ – изооктан», в которой варьированием w можно менять в широких пределах диаметр водного пула нанореактора. Именно эта система $Cu^{+2}$/АОТ/изооктан при заданной степени гидратации w = 11 использована нами для синтеза наночастиц меди с использованием кверцетина и рутина в качестве восстановителя в сравнении с традиционными восстановителями гидразином и боргидридом натрия.

Цель исследования – провести характеризацию наночастиц меди, получаемых в обратных мицеллах бис-(2-этилгексил)-сульфосукцината натрия (АОТ) с использованием флавоноидов: кверцетина и рутина в сравнении с традиционными восстановителями – боргидридом натрия и гидразином. При этом свидетельством образования наночастиц меди служит появление плазмонного пика поглощения в оптических спектрах мицеллярных растворов, а результаты просвечивающей электронной микроскопии с обработкой изображений универсальным программным пакетом ImageJ позволяют построить гистограммы распределения наночастиц меди по размерам.

Приведенные выше результаты свидетельствуют о том, что использование флавоноидов в качестве восстановителей позволяет снизить средний размер наночастиц меди и сузить их распределение по размерам. Возможно, эффективность процесса в сравнении с гидразином обусловлена тем, что восстановлению катиона меди предшествует образование комплекса флавоноид – йон металла в мицеллярном растворе. Поэтому восстановители из группы флавоноидов позволяют оптимизировать процесс получения наночастиц меди в коллоидной системе с обратными мицеллами АОТ.

## Заключение

Восстановители из группы флавоноидов позволяют оптимизировать процесс получения наночастиц меди в коллоидной системе с обратными мицеллами бис-(2-этилгексил)-сульфосукцината натрия. Получаемые наночастицы меди имеют средний размер 7–8 нм.

## Список литературы

1. Патент № 2462303 Российская Федерация, МПК B01J 20/10, B01J 20/06, B01J 20/22. Порошкообразный магнитный сорбент для сбора нефти, масел и других углеводородов / Миргород Ю. А., Емельянов С. Г., Борщ Н. А., Федосюк В. М., Хотынюк С. С. № 2010150749/05; заявл. 10.12.2010; опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.

2. Миргород Ю. А., Борщ Н. А., Юрков Г. Ю. Получение наноматериалов из водных растворов, моделирующих отходы гидрометаллургии // Журнал прикладной химии. 2011. Т. 84, № 8. С. 1249–1253.

3. Патент № 2369466 Российская Федерация, МПК B22F 9/24, B82B 3/00. Способ получения наночастиц металлов или гибридов наночастиц металлов / Миргород Ю. А., Борщ Н. А. № 2008107359/02; заявл. 26.02.2008; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28.

4. Патент № 2516153 Российская Федерация, МПК C22B 11/00, C22B 3/06, C22B 3/44, B82B 3/00. Способ получения наночастиц золота из сырья, содержащего железо и цветные металлы / Миргород Ю. А., Емельянов С. Г., Борщ Н. А. № 2012110665/02; заявл. 20.03.2012; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

5. Получение углеродных нановолокон разложением этилена на гибридном никелевом катализаторе / Т. В. Макеева, И. А. Стрельцов, Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, А. А. Ведягин, И. В. Мишаков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 3. С. 213–219.

6. Патент № 2545342 Российская Федерация, МПК C01G 29/00, C22B 30/06, B82B 3/00, B82Y 40/00. Способ получения наночастиц висмута / Миргород Ю. А., Емельянов С. Г., Борщ Н. А. № 2013116812/05; заявл. 12.04.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.

7. Патент № 2468861 Российская Федерация, МПК B01J 23/52, B01J 21/00, B01J 21/04, B01J 21/06, C07H 3/00. Способ получения катализатора на пористом металлооксидном носителе для окисления углеводов / Миргород Ю. А., Емельянов С. Г., Борщ Н. А., Бородина В. Г. № 2011117967/04; заявл. 04.05.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34.

8. Патент 2464088 Российская Федерация, МПК B01J 23/96, B82B 1/00, B01J 23/63, B01J 21/04, B01J 37/08, B01J 38/60. Способ регенерации автомобильных катализаторов / Миргород Ю. А., Емельянов С. Г., Борщ Н. А. № 2011115259/04; заявл. 18.04.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29.

9. Development and physico-chemical study of the aqueous dispersion silver nanoparticles as the basis for creating new nanomaterials / L. S. Ageeva, A. S. Chekadanov, N. A. Borsch, A. P. Kuzmenko, M. M. Than, M. B. Dobromyslov // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2015. Vol. 7, no. 4. P. 4036–4039.

10. Патент № 2635505 Российская Федерация, МПК A61K 33/00, B83B 1/00, A61K 33/34. Способ получения антибактериальной композиции, содержащей основной ацетат меди / Борщ Н. А., Кузьменко А. П., Агеева Л. С. № 2016146828; заявл. 29.11.2016; опубл. 13.11.2017, Бюл. № 32.

11. Синтез наночастиц основного ацетата меди (II) в мицеллярных водных растворах и их самоорганизация в пленочных структурах / Н. А. Борщ, Н. В. Кувардин, Л. С. Агеева, А. П. Кузьменко, Ю. А. Миргород // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 4. Р. 137–158.

12. Получение и характеризация хлопчатобумажной ткани, модифицированной наночастицами меди / Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, В. Г. Бородина, Г. Ю. Юрков // Химическая промышленность. 2012. Vol. 89, № 6. С. 310–316.

13. Stimulation of seed viability by means of dispersed solutions of Copper and Silver nanoparticles / S. N. Maslobrod, Y. A. Mirgorod, V. G. Borodina, N. A. Borsch // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2013. Vol. 5, no. 4. P. 04018-1–04018-3.

14. Влияние водных дисперсных систем с наночастицами серебра и меди на прорастание семян / С. Н. Маслоброд, Ю. А. Миргород, В. Г. Бородина, Н. А. Борщ // Электронная обработка материалов. 2014. Т. 50, № 4. С. 103–112.

15. Effect of aqueous dispersions with NpAg, NpCu, NpBi and NpZn, millimeter- wave radiation, and weak magnetic fields on the germination of triticale and wheat seeds under the action of a pathogenic fungus and low temperatures / S. N. Maslobrod, G. A. Lupashku, Y. A. Mirgorod, N. A. Borsch, V. G. Borodina, L. S. Ageeva, A. Shibaev, I. Groisman // 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME-2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova. Springer Singapore, 2015. P. 275–279.

16. Получение наночастиц золота из скрапа / Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, В. Г. Бородина, Г. Ю. Юрков, Д. И. Тимаков // Химическая технология. 2012. Т. 13, № 9. С. 528–533.

17. Синтез наночастиц на основе гадолиния в системе прямых мицелл ПАВ и исследование их магнитных свойств / Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, А. А. Реутов, Г. Ю. Юрков, В. М. Федосюк // Журнал прикладной химии. 2009. Т. 82, № 8. С. 1261–1267.

18. Vorobiova I. G., Borshch N. A., Mirgorod Y. A. The structure of Mn and Co nanoparticles obtained in direct surfactant micelles // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2017. Vol. 9, no. 5. P. 05036-1–05036-4.

19. Mirgorod Y. A., Fedosyuk V. M., Borsch N. A. Physico-chemical properties of nanoparticles functionalized by polypyrrole // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2013. Vol. 5, no. 4. P. 04033.

20. Структура и магнитные свойства наночастиц феррита кобальта, синтезированных в системе прямых мицелл амфифилов с использованием ионной флотоэкстракции / Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, В. М. Федосюк, Г. Ю. Юрков // Журнал физической химии. 2012. Т. 86, № 3. С. 489–495.

21. Магнитные свойства наночастиц феррита никеля, полученных флотоэкстракционным методом / Ю. А. Миргород, Н. А. Борщ, В. М. Федосюк, Г. Ю. Юрков // Неорганические материалы. 2012. Т. 48, № 12. Р. 1375–1380.

22. Синтез наночастиц оксида цинка золь-гель методом для получения регулярных упорядоченных структур в виде пленок Ленгмюра – Блоджетт / Л. С. Агеева, И. В. Чухаева, Н. А. Борщ, А. П. Кузьменко, П. В. Абакумов // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции: в 2-х т. Т. 1. Курск: Университетская книга, 2015. С. 34–36.

23. Борщ Н. А. Синтез структурированного полиэтилентерефталата для исследования механизма гелеобразования в условиях его промышленного производства // Известия Курского государственного технического университета. 2004. № 12. С. 103–106.

24. Бактерицидные и каталитические свойства стабильных металлических наночастиц в обратных мицеллах / Е. М. Егорова, А. А. Ревина, Т. Н. Ростовщикова, О. И. Киселева // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2001. Т. 42, № 5. С. 332–338.

25. Егорова Е. М. Наночастицы металлов в растворах: биохимический синтез и применение // Нанотехнология. 2004. № 1. С. 15–26.

26. Патент № 2147487 Российская Федерация, МПК C1B22 F9/24. Способ получения наноструктурных металлических частиц / Егорова Е. М., Ревина А. А. № 99114319/02; заявл. 01.07.1999; опубл. 20.04.2000, Бюл. № 11.

## References

1. Mirgorod Y.A., Emelyanov S.G., Borsch N.A. Powdered magnetic sorbent for collecting oil, oils and other hydrocarbons. Russian Federation patent 2462303, 27 September 2012. (In Russ.)

2. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Yurkov G.Y. Preparation of nanomaterials from aqueous solutions imitating the hydrometallurgy waste. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry.* 2011;84(8):1314–1318. (In Russ.)

3. Mirgorod Y.A., Borshch N.A. Method of obtaining metal nanoparticles or hybrids of metal nanoparticles. Russian Federation patent 2369466, 10 October 2009. (In Russ.)

4. Mirgorod Y.A., Emelyanov S.G., Borshch N.A. A method of obtaining gold nanoparticles from raw materials containing Iron and nonferrous metals. Russian Federation patent 2516153, 20 May 2014. (In Russ.)

5. Makeeva T.V., Streltsov I.A., Mirgorod Yu.A., Borshch N.A., Vedyagin A.A., Mishakov I.V. Production of carbon nanofibers by decomposition of ethylene on a hybrid nickel catalyst. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika i khimiya = Proceedings Southwest State University. Series: Physics and Chemistry*. 2013;(3):213–219. (In Russ.)

6. Mirgorod Y.A., Emelyanov S.G., Borshch N.A. Method for producing Bismuth nanoparticles. Russian Federation patent 2545342, 27 March 2015. (In Russ.)

7. Mirgorod Y.A., Emelyanov S.G., Borshch N.A., Borodina V.G. Method of producing a catalyst on a porous metal oxide carrier for oxidation of carbohydrates. Russian Federation patent 2468861, 10 December 2012. (In Russ.)

8. Mirgorod Y.A., Emelyanov S.G., Borshch N.A. Method of regeneration of automotive catalysts. Russian Federation patent 2464088, 20 October 2012. (In Russ.)

9. Ageeva L.S., Chekadanov A.S., Borsch N.A., Kuzmenko A.P., Than M.M., Dobromyslov M.B. Development and physico-chemical study of the aqueous dispersion silver nanoparticles as the basis for creating new nanomaterials. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2015;7(4):4036–4039.

10. Borshch N.A., Kuzmenko A.P., Ageeva L.S. A method of obtaining an antibacterial composition containing basic copper acetate. Russian Federation patent 2635505, 13 November 2017. (In Russ.)

11. Borsch N.A., Kuvardin N.V., Ageeva L.S., Kuzmenko A.P., Mirgorod Y.A. Synthesis of nanoparticles of basic Copper (II) acetate in micellar aqueous solutions and their self-organization in film structures. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2020;10(4):137–158. (In Russ.)

12. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Borodina V.G., Yurkov G.Y. Production and characterization of cotton fabric modified with Copper nanoparticles. *Khimicheskaya promyshlennost' = Chemical industry.* 2012;89(6):310–316. (In Russ.)

13. Maslobrod S.N., Mirgorod Y.A., Borodina V.G., Borsch N.A. Stimulation of seed viability by means of dispersed solutions of Copper and Silver nanoparticles. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2013;5(4):04018-1–04018-3.

14. Maslobrod S.N., Mirgorod Y.A., Borodina V.G., Borshch N.A. Influence of aqueous disperse systems with Silver and copper nanoparticles on seed germination. *Elektronnaya obrabotka materialov = Electronic processing of materials.* 2014;50(4):103–112. (In Russ.)

15. Maslobrod S.N., Lupashku G.A., Mirgorod Y.A., Borsch N.A., Borodina V.G., Ageeva L.S., Shibaev A., Groisman I. Effect of aqueous dispersions with NpAg, NpCu, NpBi and NpZn, millimeter-wave radiation, and weak magnetic fields on the germination of triticale and wheat seeds under the

action of a pathogenic fungus and low temperatures. In: 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME-2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova. Springer Singapore, 2015. P. 275–279.

16. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Borodina V.G., Yurkov G.Y., Timakov D.I. Preparation of gold nanoparticles from the metal scrap. *Khimicheskaya tekhnologiya = Chemical technology*. 2012;13(9):528–533. (In Russ.)

17. Mirgorod Y.A., Borsch N.A., Reutov A.A., Yurkov G.Y., Fedosyuk V.M. Synthesis of Gadolinium-based nanoparticles in a system of direct surfactant micelles and study of their magnetic properties. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009;82(8):1357–1363. (In Russ.)

18. Vorobiova I.G., Borshch N.A., Mirgorod Y.A. The structure of Mn and Co nanoparticles obtained in direct surfactant micelles. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017;9(5):05036-1–05036-4.

19. Mirgorod Y.A., Fedosyuk V.M., Borsch N.A. Physico-chemical properties of nanoparticles functionalized by polypyrrole. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2013;5(4):04033.

20. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Fedosyuk V.M., Yurkov G.Y. The structure and magnetic properties of Cobalt ferrite nanoparticles synthesized in a system of direct micelles of amphiphiles by means of ion flotoextraction. *Zhurnal fizicheskoi khimii = Russian Journal of Physical Chemistry A.* 2012;86(3):418–423. (In Russ.)

21. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Fedosyuk V.M., Yurkov G.Y. Magnetic properties of Nickel ferrite nanoparticles prepared using flotation extraction. *Neorganicheskie materialy = Inorganic Materials.* 2013;49(1):109–114. (In Russ.)

22. Ageeva L.S., Chukhaeva I.V., Borsch N.A., Kuzmenko A.P., Abakumov P.V. Synthesis of Zinc oxide nanoparticles by sol-gel method for obtaining regular ordered structures in the form of Langmuir-Blodgett films. In: Physics and Technology of Nanomaterials and Structures: Collection of scientific articles of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Vol. 1. Kursk: Universitetskaya kniga, 2015. P. 34–36. (In Russ.)

23. Borsch N.A. Synthesis of structured polyethylene terephthalate for the study of the mechanism of gelation in the conditions of its industrial production. *Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Kursk State Technical University.* 2004;(1):103–106. (In Russ.)

24. Egorova E.M., Revina A.A., Rostovshchikova T.N., Kiseleva O.I. Bactericidal and catalytic properties of stable metal nanoparticles in reverse micelles. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiya = Bulletin of Moscow University. Series 2: Chemistry.* 2001;42(5):332–338. (In Russ.)

25. Egorova E.M. Metal nanoparticles in solutions: biochemical synthesis and application. *Nanotekhnologiya = Nanotechnolog.* 2004;(1):15–26. (In Russ.)

26. Egorova E.M., Revina A.A. Method for obtaining nanostructured metal particles. Russian Federation patent 2147487, 20 April 2000.

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Рашиди Джавид,** старший преподаватель, Фарахский государственный университет, г. Фарах, Афганистан, e-mail: jawidrashidi2020@gmail.com

**Rashidi Javid**, Senior Lecturer, Farah State University, Farah, Afghanistan, e-mail: jawidrashidi2020@gmail.com

**Агеева Лилия Сергеевна**, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры фундаментальной химии и химической технологии, старший научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: millfi@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5644-3367

**Liliya S. Ageeva,** Candidate of Sciences (Chemistry), Senior Lecturer of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Senior Research of the Regional Center of Nanotechnology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: liliya-ageeva-als@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5644-3367

**Фатьянова Елена Александровна**, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: fatlen@yandex.ru

**Elena A. Fatyanova**, Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: fatlen@yandex.ru

**Борщ Николай Алексеевич,** кандидат химических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nborsch@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8156-593X

**Nikolay A. Borsch**, Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nborsch@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8156-593X