



УДК: 620.3:661.8:544.6:677.017

**Мухаммад Амин МУМИНХОДЖАЕВ,**  
Докторант, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности  
E-mail: muhammadamin.muminxodjayev@bk.ru

**Адхам РАФИКОВ,**  
Д.х.н., профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности  
**Гулноза ЖУРАЕВА,**  
PhD, ассистент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

На основании рецензии д.х.н., профессора ТХТИ О.С. Максумовой

#### PAHTA MATOSIDA MIS NANOZARRACHALARINI ASKORBIN KISLOTASI YORDAMIDA QAYTARISH

Аннотация

Paxta matosida mis nanozarrachalarini as korbin kislotasi yordamida ekologik xavfsiz qaytaruvchi sifatida tiklash sharoitlari o'rganildi. Askorbin kislotasi (5–25%) va mis (II) sulfat (1–15%) konsentratsiyasining metall mis hosil bo'lishi va uning ekranlovchi xususiyatlariga ta'siri ko'rib chiqildi. Reagentlar konsentratsiyasining oshishi tolalar yuzasida qaytarilgan va mustahkamlangan mis miqdorining ortishiga olib kelishi aniqlandi. Optimal sharoitlarda metall misning selluloza matritsada samarali tiklanishi va mustahkamlanishi kuzatildi.

Mikroskopiya va termik tahlil usullari yordamida tolalar yuzasining morfologik o'zgarishlari hamda ishlov berilgandan keyin materialning termik barqarorligidagi o'zgarishlar tasdiqlandi. Olingan natijalar yumshoq sintez sharoitlarida berilgan funksional xususiyatlarga ega bo'lgan mis tarkibli to'qimachilik materiallarini olish imkoniyatini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** paxta matosi, mis nanozarrachalari, askorbin kislotasi, mis (II) sulfat, termik tahlil.

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАНОМЕДИ В ХЛОПКОВОЙ ТКАНИ С ПОМОЩЬЮ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ

Исследованы условия восстановления наночастиц меди в хлопковой ткани с использованием аскорбиновой кислоты как экологически безопасного восстановителя. Рассмотрено влияние концентрации аскорбиновой кислоты (5–25%) и сульфата меди (II) (1–15%) на процессы формирования металлической меди и её экранирующие свойства. Установлено, что увеличение концентрации реагентов способствует росту количества восстановленной и закреплённой меди на поверхности волокон. Показано, что при оптимальных условиях происходит эффективное восстановление и фиксация металлической меди на целлюлозной матрице.

Методами микроскопии и термического анализа подтверждены морфологические изменения поверхности волокон и изменение термической стабильности материала после обработки. Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения медьсодержащих текстильных материалов с заданными функциональными свойствами при мягких условиях синтеза.

**Ключевые слова:** хлопковая ткань, наночастицы меди, аскорбиновая кислота, сульфат меди (II), термический анализ.

#### REDUCTION OF COPPER NANOPARTICLES IN COTTON FABRIC USING ASCORBIC ACID

The conditions for the reduction of copper nanoparticles in cotton fabric using ascorbic acid as an environmentally friendly reducing agent were investigated. The effect of the concentration of ascorbic acid (5–25%) and copper (II) sulfate (1–15%) on the processes of metallic copper formation and its shielding properties was examined. It was found that increasing the concentration of the reagents promotes the growth of the amount of reduced and fixed copper on the fiber surface. It was shown that under optimal conditions, effective reduction and fixation of metallic copper on the cellulose matrix occur.

Microscopy and thermal analysis methods confirmed morphological changes in the fiber surface and changes in the thermal stability of the material after treatment. The obtained results indicate the possibility of producing copper-containing textile materials with desired functional properties under mild synthesis conditions.

**Key words:** cotton fabric, copper nanoparticles, ascorbic acid, copper(II) sulfate, thermal analysis.

**Введение.** Восстановление меди в виде наночастиц на текстильных волокнах открывает новые перспективы для создания умных материалов, защищающих от электромагнитного излучения [1, 2]. Каждый из известных методов восстановления имеет свои преимущества и ограничения, и выбор подхода зависит от конкретных требований и области применения конечного продукта. В отличие от традиционных восстановителей (NaBH<sub>4</sub>, гидразин), аскорбиновая кислота является безопасным и экологичным реагентом [3, 4]. Было создано многофункциональное покрытие путем простой послойной сборки фитиновой кислоты, хитозана и распыления ионов меди и полидиметилсилоксана на хлопчатобумажные ткани с целью одновременного придания им огнестойкости, антибактериальных и супергидрофобных свойств [5].

Были использованы два метода импрегнирования для получения антибактериальных хлопковых волокон с наночастицами серебра AgNPs [6]. Прочная и эффективная антибактериальная хлопчатобумажная ткань была получена путем прививки аминокислоты, содержащей динамические дисульфидные связи, а затем осаждения AgNPs [7]. Нанопотокатализатор CuO, легированный Sr, был синтезирован с использованием недорогого и экологически безопасного электрохимического метода, который продемонстрировал высокую антибактериальную активность [8].

Бамбуковая ткань с привитым акриламидом использовалась в качестве подложки для иммобилизации наночастиц меди, для использования в медицинском текстиле с целью предотвращения перекрестных инфекций [9].

Несмотря на возросший интерес процессам получения металл наполненных текстильных материалов, простая и экологически безопасная реализация метода остается не решенной проблемой. Проведены первичные исследования по восстановлению меди на поверхности хлопковых тканей с помощью различных восстановителей, наиболее перспективным оказалась аскорбиновая кислота [10]. Целью настоящей работы является исследование процесса восстановления меди с помощью аскорбиновой кислоты и создание электропроводящего текстильного материала.

#### Материалы и методы.

В работе использованы следующие материалы: хлопковая ткань с плотностью 200 г/м<sup>2</sup>. Медный купорос чистый –  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ . Аскорбиновая кислота  $C_6O_8H_6$ , чистотой 99,7%. Соляная кислота –  $HCl$  30-31%.

Метод восстановления меди на поверхности ткани. Ткань нарезалась на образцы размером 10×10 см. Каждый образец погружался в раствор  $CuSO_4$ , с соответствующей концентрацией (1%, 3%, 5%, 10%, 15%) на 20 мин при комнатной температуре. После пропитки ткань отжималась до 80% и переносилась в раствор аскорбиновой кислоты концентрации 5%, 10%, 15%, 20%, 25% при температуре 70°C в течение 30 мин.



Рисунок 1. Схема обработки текстильного материала.

После реакции образцы промывались дистиллированной водой и сушились до постоянной массы. Затем образцы тканей подверглись к мыльным обработкам, при этом определена их масса до и после обработки (рисунок 1).

Увеличенные изображения образцов снимались с помощью USB-микроскопа Optika B-150 при увеличении 40× и 100× (объективы 4× и 10×, окуляр 10×). Термические свойства образцов исследованы методами термогравиметрии (ТГА) и дифференциально-термического анализа (ДТА). Исследования проведены на приборе GS-TGA101. Масса образцов 16-22 мг, температурный диапазон от комнатной до 1000°C, при скорости нагрева 10 °C/мин.

#### Результаты и их обсуждение

В таблицах 1 и 2 представлены данные по изменению массы образцов хлопковой ткани, обработанных при различных концентрациях сульфата меди (II) и аскорбиновой кислоты.

Таблица 1. Зависимость количества восстановленной и закрепленной меди на поверхности хлопковых волокон от концентрации сульфата меди (II). Концентрация аскорбиновой кислоты 20%.

№	Масса исходной ткани	Концентрация сульфата меди (II), %	Масса ткани после мыльной обработки	Привес, %
1	2,0427	1	2,0877	2,20
2	2,1869	3	2,3158	5,89
3	2,2232	5	2,4013	8,01
4	2,2828	10	2,4001	5,14
5	2,0947	15	2,1511	2,69

Таблица 2. Зависимость количества восстановленной и закрепленной меди на поверхности хлопковых волокон от концентрации аскорбиновой кислоты (II). Концентрация сульфата меди (II) 10%.

№	Масса исходной ткани	Концентрация $C_6O_8H_6$ , %	Масса ткани после мыльной обработки	Привес, %
1	2,0485	5	2,0801	1,46
2	2,2897	10	2,3556	3,06
3	2,1164	15	2,2236	4,725
4	2,1313	20	2,2403	5,16
5	2,3182	25	2,3838	4,745

После обработки масса образцов увеличивалась за счёт осаждения меди, однако после промывки мыльным раствором наблюдалось частичное снижение массы, что свидетельствует о закреплении только металлической меди на поверхности волокон.

По данным таблиц наибольший привес массы ткани, достигнут при концентрациях сульфата меди (II) 5-10% и аскорбиновой кислоты 15-20%.

После восстановления меди аскорбиновой кислотой на поверхности хлопковых волокон наблюдаются характерные включения и налёты меди. Волокна теряют гладкость, становятся более шероховатыми, местами покрыты скоплением меди (рисунок 2). После промывки часть меди удаляется, однако значительная её часть остаётся прочно закреплённой на целлюлозной матрице, что подтверждает эффективность метода осаждения меди на текстильных волокнах.

A)

B)

C)

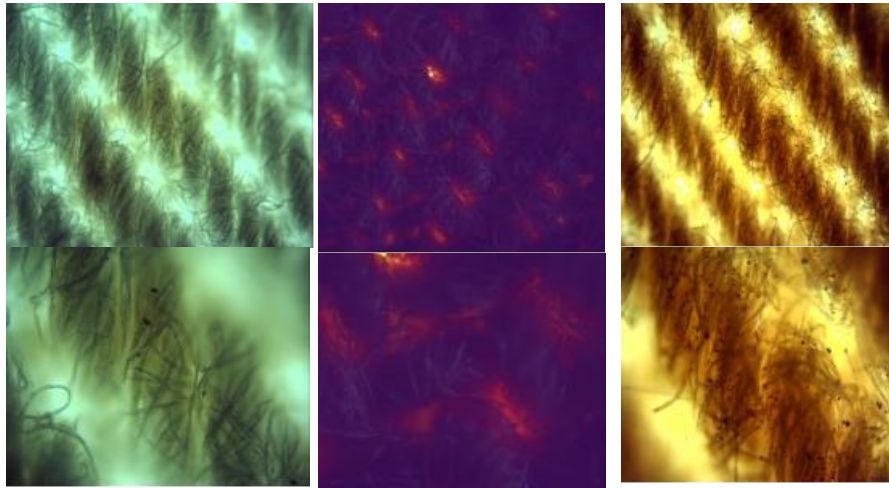


Рисунок 2. Увеличенные изображения тканей: А) Исходная хлопчатобумажная ткань; В) Ткань после обработки с аскорбиновой кислотой и сульфатом меди II; С) Ткань после промывки в мыльно-содовой воде. Размер окуляра: 4/0.10 – 160/0.17 и 10/0.25 – 160/0.17.

Обработанная ткань проводит электрический ток, что является убедительным доказательством наличия металлической меди не ее поверхности. Следует отметить два факта. Во-первых, электрический ток начинает проходить через ткань, насыщенный медью, когда металл образует цепочечную структура не ее поверхности. При недостаточном количестве металлической меди ток не проходит. Во-вторых, поверхность ткани выдерживает ток силой всего до 0,1 А. При дальнейшем увеличении силы тока появляются искры, и поверхность ткани обжигается. Это свидетельствует о том, что образуются очень маленькие микро и нано-размерные частицы меди.

Для дополнительного подтверждения восстановления меди (II) до металлической меди, образцы ткани после пропитки и высушивания подвергались обработке раствором соляной кислоты.

Были проведены ДТА и ТГА анализы образцов целлюлозы до и после обработки (рисунок 3).

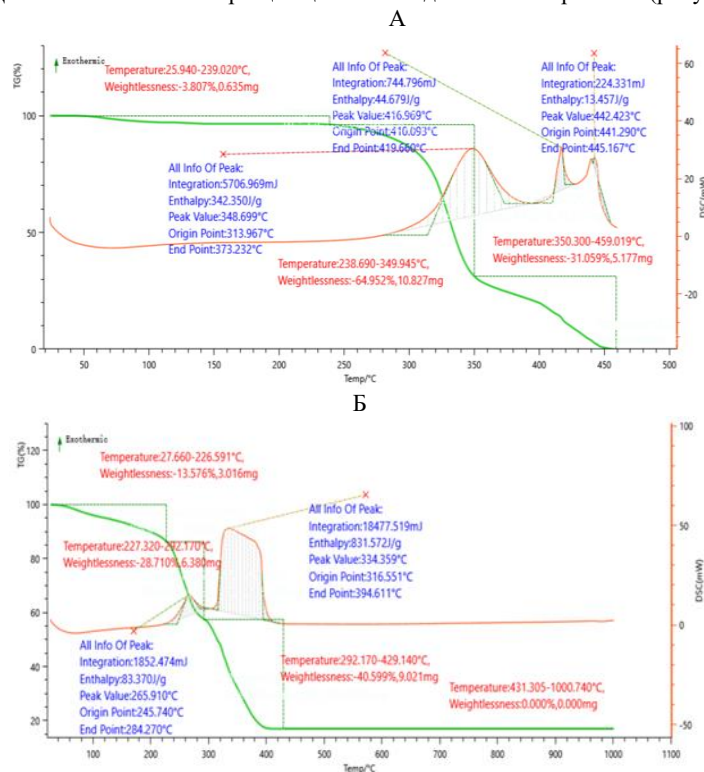


Рисунок 3. Кривые ТГА и ДТА А) до и Б) после обработки.

Анализ кривых показывает, что процесс термического разложения протекает в три стадии. Первая стадия наблюдается в интервале от комнатной температуры до 239,02°C и сопровождается незначительной потерей массы (–3,807%), что связано с удалением физически адсорбированной влаги. На данном этапе выраженные тепловые эффекты отсутствуют. Вторая стадия (238,69–349,95 °C) характеризуется интенсивной потерей массы (–64,952%) и соответствует основному этапу термической деструкции целлюлозной матрицы. На ДТА-кривой в этой области фиксируется выраженный экзотермический пик с максимумом при 348,7°C и тепловым эффектом 342,35 Дж/г, обусловленный разрывом β-1,4-гликозидных связей и деполимеризацией целлюлозы. Третья стадия протекает в диапазоне 350,30–459,02 °C и сопровождается дополнительной потерей массы (–31,059%), связанной с дальнейшим разложением продуктов

пирилиза и образованием углеродистого остатка. В этой области наблюдаются два слабых тепловых эффекта с максимумами при 416,97 и 442,42 °С (44,68 и 13,46 Дж/г). Общая потеря массы достигает 100%, что указывает на полное разложение целлюлозы без образования остатка. Отсутствие эндотермического эффекта свидетельствует о том, что плавление не происходит, а материал разлагается напрямую. После обработки ткани медью характер термического разложения существенно изменяется. По данным ТГА-кривой потеря массы также идет в нескольких стадиях. Первая стадия (27,67–226,6 °С) сопровождается увеличенной потерей массы (13,58 %), что может быть связано с наличием влаги и продуктов взаимодействия с медью. Вторая стадия (227,32–292,17 °С) характеризуется потерей массы 28,71 %, а третья стадия (292,17–429,14 °С) – 40,6%, при этом основная деструкция смещается в область более низких температур. Согласно данным ДТА, для обработанного образца наблюдаются два выраженных термических эффекта с максимумами при 265,91 °С и 334,36 °С. При этом величина теплового эффекта значительно возрастает и достигает 831,57 Дж/г, что указывает на изменение механизма термического разложения и усиление тепловых процессов.

Обработка медью снижает температуру разложения целлюлозы и изменяет его стадии, медь ускоряет процесс разрушения, материал становится менее устойчивым к нагреванию и разлагается быстрее. В конце процесса остается оксид меди (II) количеством 17,115% от массы всего остатка.

**Заключение.** В рамках проведенного исследования была продемонстрирована возможность восстановления и осаждения металлической меди ( $\text{Cu}^0$ ) на поверхности хлопковых волокон с использованием аскорбиновой кислоты как экологически безопасного восстановителя. Методика включала предварительную пропитку ткани раствором  $\text{CuSO}_4$  с последующим восстановлением в растворе аскорбиновой кислоты при мягких температурных условиях. Анализ данных показал, что увеличение массы ткани после обработки прямо коррелирует с концентрацией реагентов, особенно при 5–15%  $\text{CuSO}_4$  и 20–25%  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ . После мыльной промывки наблюдалось частичное снижение массы, что свидетельствует о закреплении именно металлической меди, а не её солей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Article Designing Electronic Structures of Multiscale Helical Converters for Tailored Ultrabroad Electromagnetic AbsorptionZ. Feng, R. Che *NanoMicroLetters*•2025<https://www.scopus.com/pages/publications/85204903711?origin=resultslist&source=sd-apx>
2. Renchao Che, Junwei Gu, Jie Kong, Wei Lu, Yi Huang, Hualiang Lv, Xiaofang Liu, Xiaosi Qi, Guanglei Wu, Hongjing Wu Designing future nanomaterials for electromagnetic wave absorption and shielding Volume 6, Issue 3, 19 March 2025, 102502 <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.102502>
3. Кудрявцева, Е.В. Получение стабильных наночастиц меди с применением нетоксичных восстановителей / Е.В. Кудрявцева, А.А. Буринская // Тезисы докладов междунаро. научн. конф. «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах». СПб, 2020. – С. 49.
4. Shubhajit Shaw, Rittick Mondal, Paulami Dam, Avijit Mandal, Ritwik Acharya, Sanjeet Manna, Debnirmalya Gangopadhy ay, Amit Kumar Mandal // Synthesis, characterization and application of silk sericin-based silver nanocomposites for antibacterial and food coating solutions // RSC Advances Volume 14, Issue 45, 6 November 2024, Pages 33068-33079 <https://doi.org/10.1039/D4RA06295G>
5. Yinchun Fang, Lvxin Chen, Jiajia Liu, Lingshuang Wu // Multi-functionalization of cotton fabrics with excellent flame retardant, antibacterial and superhydrophobic properties// International Journal of Biological Macromolecules Volume 254, Part 2, January 2024, 127889 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127889>
6. Mayra Eleonora Beltrán Pineda, Luz Marina Lizarazo Forero, Cesar A Sierr// Antibacterial fibers impregnated with mycosynthesized AgNPs for control of Pectobacterium carotovorum //Volume 10, Issue 1, 15 January 2024, e23108 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23108>
7. Leilei Wu, Bingjie Fan, Biaobiao Yan, Ying Liu, Yuanyuan Yu, Li Cui, Man Zhou, Qiang Wang, Ping Wang Construction of durable antibacterial cellulose textiles through grafting dynamic disulfide-containing amino-compound and nanosilver deposition// International Journal of Biological Macromolecules Volume 259, Part 1, February 2024, 129085 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129085>
8. Hosaholalu Balakrishna Uma, Malahalli S. Vijaya Kumar, Sannaiah Ananda// Semiconductor-assisted photodegradation of textile dye, photo-voltaic and antibacterial property of electrochemically synthesized Sr-doped CuO nano photocatalysts // Journal of Molecular Structure Volume 1264, 15 September 2022, 133110 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133110>
9. M.D. Teli, Javed Sheikh// Modified bamboo rayon–copper nanoparticle composites as antibacterial textiles// International Journal of Biological Macromolecules Volume 61, October 2013, Pages 302-307 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.07.015>
10. Муминходжаев М.Б, Зубайдуллаева М.М, Эргашова Ш.Ш. Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности “Восстановление меди из раствора соли на хлопчатобумажной ткани”, “Ishlab chiqarish va qayta ishlashninginnovatsion texnologiyalarini rivojlanishi sharoitida ilm-fan va soha korxonalarining integratsiyasi” respublika miqyosidagi ilmiy – amaliy anjumani TO‘PLAMI. 22-23 oktabr 2025. 2-Qism Toshkent.