

диаметр нитей уменьшается на 18–20 %.

Из проведенных исследований следует, что при шлихтовании пряжи композицией на основе коллагена пряжа приобретает достаточную для ткачества прочность, также при этом сохраняется необходимое удлинение нити.

#### Список использованных источников

1. Короткова, М. В. Разработка метода оценки качества подготовки основных нитей в подготовительном отделе ткацкого производства на основе анализа повреждаемости нитей по ширине заправки ткацкого станка [Электронный ресурс] / М.В. Короткова, М. В. Назарова, В. Ю. Романов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – Режим доступа: <https://science-education.ru/>. – Дата доступа: 20.04.2020.
2. Назарова, М. В. Оптимизация процесса шлихтования хлопчатобумажной пряжи при выработке ткани миткаль [Электронный ресурс] / М. В. Назарова, А. А. Завьялов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <https://science-education.ru/>. – Дата доступа: 20.04.2020.

УДК 547.962.9/548.73

## МИКРОСТРУКТУРА И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСОВ КОЛЛАГЕНА С ИОНАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Садикова Д.Б., докт., Рафигов А.С. д.х.н., проф.,  
Абдусаматова Д.О. к.х.н., доц.*

*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

Реферат. В статье рассмотрено получение металлокомплексов коллагена с ионами  $Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ . Показаны наличие координационных и ионных связей между макромолекулой коллагена и ионом металла ИК-спектроскопическим исследованием. Микроструктура и элементный состав комплексов исследован методом электронной сканирующей микроскопии.

Ключевые слова: ионы металлов, коллаген, координационный комплекс, элементный состав, микроструктура.

В последние десятилетия коллагеновым биоматериалам уделяется особое внимание в связи с их превосходными свойствами такими, как низкая иммуногенность, биоразлагаемость, биосовместимость, гидрофильность, простота обработки и т. д. [1]. Ионы металлов влияют на термостабильность белков, увеличивая или уменьшая их устойчивость к разворачиванию [2]. Взаимодействие между ионами металлов и пептидами вызвало интерес из-за важной роли ионов металлов во многих биологических процессах и потенциального применения в различных областях. Конформационные изменения пептидов зависят от характера связывания с ионами металлов [3]. Атомы кислорода и азота этих групп, содержащие не поделенную электронную пару, могут участвовать в донорно-акцепторном взаимодействии с ионами различных металлов, образующими металлокомплексы природного полимера. Такие стабильные во времени комплексы являются своеобразными цветными веществами. Целью данной работы является определение микроструктуры и элементного состава комплексов коллагена с ионами переходных металлов.

Получение комплексов коллагена с ионами металлов. Приготовили 20%-е растворы солей  $FeSO_4$ ,  $CoCl_2$ ,  $CrCl_3$ ,  $Ni(NO_3)_2$ ,  $(CH_3COO)_2Cu$  и 10%-й раствор коллагена. Взаимодействие осуществили смешиванием растворов в различных соотношениях в конической колбе при комнатной температуре. Через час после смешивания смеси выливали в этанол. Осажденные в этаноле комплексные соли выделили фильтрованием и высушили при температуре 60 °С до постоянной массы.

ИК-спектры комплексов снимали на ИК- Фурье спектрофотометре марки Nicolet iS50 (Thermo Scientific, USA) с приставкой внутреннего отражения и микроскопом Continuum.

Исследование микроструктуры комплексов проведено на сканирующем электронном микроскопе (EVO/LS10) на проходящих лучах (SEM-EDX) в комплекте с системой микроанализа и напылительной установкой.

Коллаген отличается от всех остальных протеинов, особенно пищевых, высоким содержанием пролина (11,8 %) и гидроксипролина (9,2 %). Пролин в коллагене присутствует в основном в последовательности глицин (33,5 %) – пролин – X, где X часто представлен аланином (10,9 %) или гидроксипролином. Коллаген имеет три субъединицы, каждая с молекулярной массой 95000; поэтому, молекулярная масса коллагена – 285000. С целью выяснения наличия взаимодействия с коллагеном и ионом металла проведены ИК-спектроскопические исследования коллагена и его металлокомплексов (рис. 1).

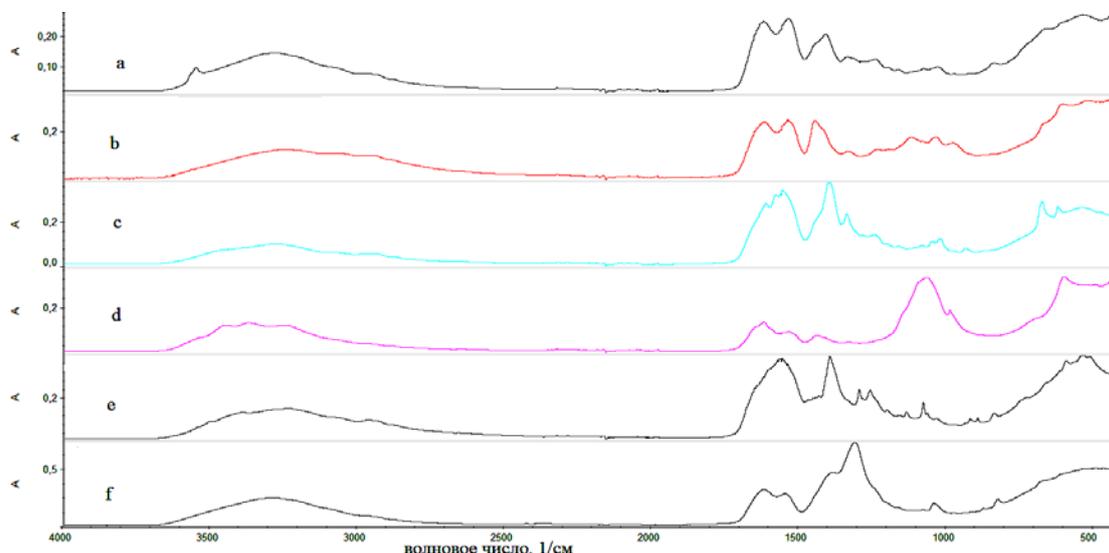


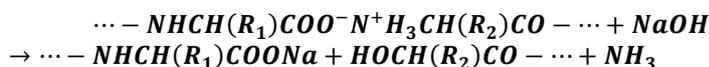
Рисунок 1 – ИК-спектры коллагена (e) и его комплексов с  $\text{Co}^{2+}$  (a),  $\text{Cr}^{3+}$  (b),  $\text{Cu}^{2+}$  (c),  $\text{Fe}^{2+}$  (d) и  $\text{Ni}^{2+}$  (f)

В ИК-спектре коллагена обнаружены полосы поглощений валентных колебаний ассоциированных NH и OH групп в области  $3224 \text{ см}^{-1}$ , деформационных колебаний NH при  $1558 \text{ см}^{-1}$  (полоса амид II) и при  $1396 \text{ см}^{-1}$  (полоса амид III). Полосы поглощений при  $1296$  и  $1259 \text{ см}^{-1}$  тоже относятся к  $\delta_{NH}$ , обусловленных взаимодействием с  $\nu_{CO}$  [4]. Полоса поглощения  $\nu_{C=O}$  (полоса амид I) видимо, перекрывается другой полосой и проявляется в виде плеча при  $1650\text{--}1630 \text{ см}^{-1}$ . В ИК-спектрах комплексов коллагена также имеются полосы поглощений деформационных и валентных колебаний связей NH, OH и CO групп, но они смещены по сравнению с полосами самого коллагена. Во всех комплексных соединениях имеется новая полоса поглощения  $1614\text{--}1621 \text{ см}^{-1}$ , которая, по-видимому, относится к валентным колебаниям иона  $\text{--CO}_2^-$ . Катион металла связывается с коллагеном не только посредством координационных связей, но и ионной связью с карбоксильными группами гидролизованного полипептида.

О существенном гидролизе коллагена при его получении свидетельствуют результаты элементного анализа комплексов по данным СЭМ. В макромолекуле коллагена на каждый атом азота приходится 2,7–2,8 атомов углерода и 1,1–1,2 атомов кислорода. На электронном снимке комплекса хрома с коллагеном хорошо просматривается наличие кристаллической фазы, но элементный состав двух участков несколько отличается (рис. 2). Это, прежде всего, относится к ионам натрия и хлорида. Видимо, на одном из участков сканирования скопились агломераты этих ионов.

В комплексе хрома с коллагеном на каждый атом азота приходится от 5 до 8 атомов углерода, примерно 5 атомов кислорода, а на каждый ион хрома приходится 13 атомов углерода, 2 атома азота и от 8 до 13 атомов кислорода.

Общим для всех исследованных комплексов является уменьшение количества атомов азота и увеличение количества атомов кислорода по сравнению с коллагеном. Видимо, гидролиз макромолекул коллагена происходит по следующей реакции с выделением газообразного аммиака и образованием гидроксильных групп:



Количество атомов кислорода оказалось больше, даже с учетом этой реакции, значит

происходит одновременно образование кристаллогидрата. Прослеживается зависимость состава комплекса от природы иона металла. Количество ионов, координированных с определенным числом аминокислотных звеньев уменьшается в следующем ряду:  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ . Этот ряд соответствует увеличению общего числа электронов, в том числе на 4d-подуровне.

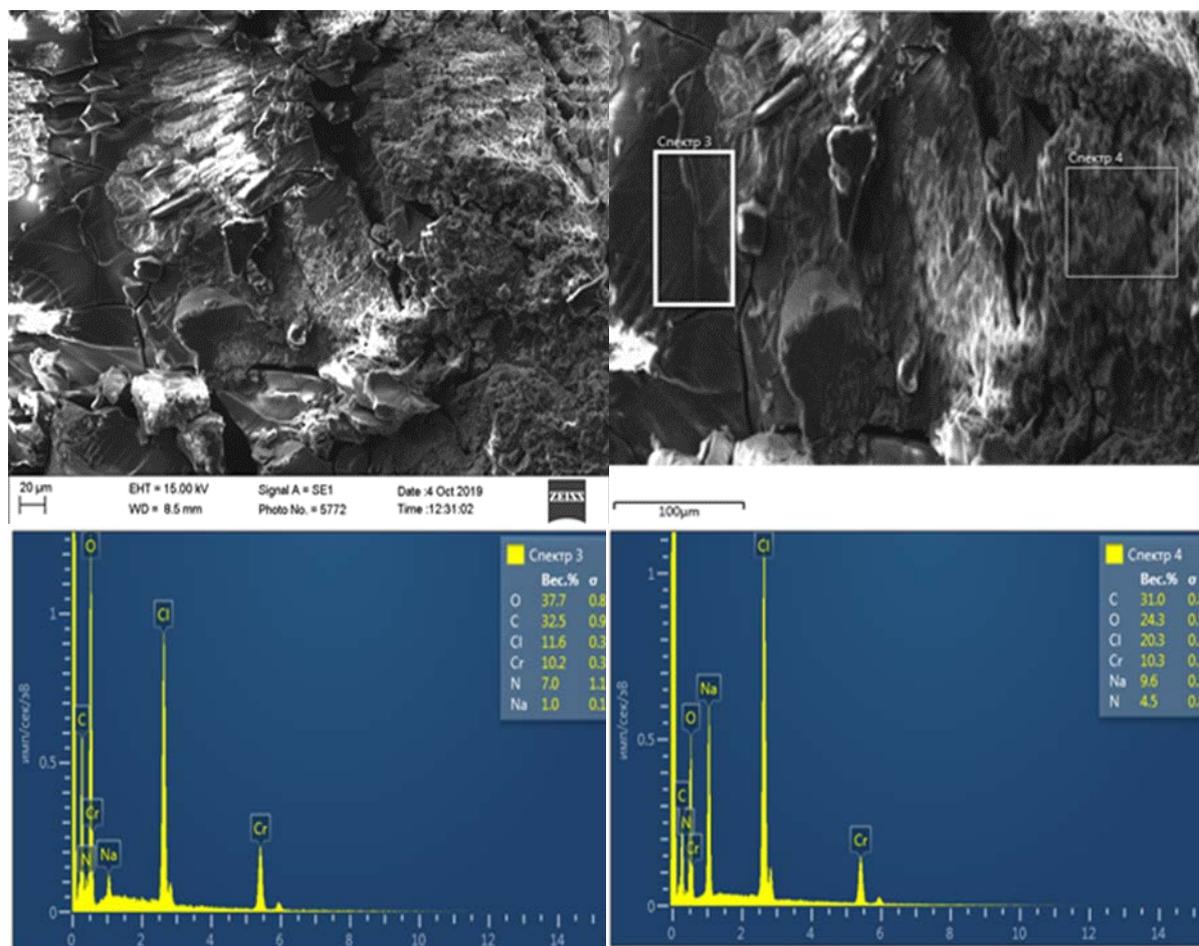


Рисунок 2 – СЭМ изображения и элементный состав комплекса коллагена с  $\text{CrCl}_3$

Комплексные соединения коллагена с ионами переходных металлов образуются как за счет координационных связей, так и за счет ионных связей между ионом металла и карбоксилат-ионом. Комплексы коллагена с  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  имеют равномерную микроструктуру и элементный состав. Степень полимеризации макромолекул в комплексе значительно меньше, чем в самом коллагене. Количество ионов металла координированных с определенным числом аминокислотных звеньев уменьшается с увеличением числа электронов на 4d-подуровне.

#### Список использованных источников

- Xinhua Liu, Chi Zheng, Xiaomin Luo, Xuechuan Wang, Huie Jiang. Recent advances of collagen-based biomaterials: Multi-hierarchical structure, modification and biomedical applications // *Materials Science and Engineering*. С. – 2019. – Vol. 99. – P. 1509–1522.
- Sorenson, A. E., Schaeffe, P. M. A new bivalent fluorescent fusion protein for differential  $\text{Cu(II)}$  and  $\text{Zn(II)}$  ion detection in aqueous solution // *Analytica Chimica Acta*. – March 2020. – Vol. 11018. – P. 120–128.
- Ziye Liu, Siyun Chen, Fangfang Qiao, Xinhao Zhang. Interaction of peptide backbones and transition metal ions: 1. an IM-MS and DFT study of the binding pattern, structure and fragmentation of  $\text{Pd(II)/Ni(II)}$ -Polyalanine complexes // *International Journal of Mass Spectrometry*. – 2019. – Vol. – 438. – P. 87–96.
- Тарасевич, Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справочные материалы / Б. Н. Тарасевич. – Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. – 55 с.