

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АНАЛИЗЫ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В БЕЛКОВЫХ КЛЕТКАХ

**Каримов С. К.<sup>1</sup>, Ибрагимов А. Т.<sup>1</sup>, Муминходжаев М. Б.<sup>1</sup>, Ерматов Ш. Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Термизский инженерно-технологический институт,  
г. Термиз, Республика Узбекистан

*Реферат.* В статье представлены результаты экспериментальных исследований серицина, выделенного из кокона, шелка и его сополимера на наличие в крови антибактериальных металлов. Изучены состав белковых металло-композитов, исследованы наличие ионов металлов в составе белков. Установлено, что антибактериальные металлические ионы связываются с волокнообразующими мономерами во время осуществления привитого механизма процесса сополимеризации с их участием.

**Ключевые слова:** физико-химические анализы, спектроскопия, антибактериальные ионы металлов, белковые клетки.

Серицин является важным компонентом натурального шелка, который можно выделить и использовать по назначению [1, 2]. Известно, что белок серицин шелка в основном содержит такие группы аминокислот, как серин (40 %), глицин (16 %), глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, треонин и триозин. Он имеет полярные боковые цепи, состоящие из гидроксильных, карбоксильных и аминогрупп, что позволяет легко соединять их, проводить реакции сополимеризации и создавать биоразлагаемые материалы путем объединения его с другими полимерами [3]. В частности, серицин представляет собой биосовместимую, биоразлагаемую, неиммуногенную биомакромолекулу на белковой основе, полученную из тутового шелкопряда, которая составляет 25–30 % протеина шелка. В последние годы наноматериалы на основе серицина привлекли большое внимание благодаря своим физическим, химическим и многофункциональным биологическим свойствам (антибактериальные, противовоспалительные и антиоксидантные). Модулированную форму серицина можно смешивать с другими полимерами для улучшения физико-химических свойств серицина. Его использовали в качестве биоматериала для различных биомедицинских, текстильных и фармацевтических применений, включая регенерацию кожных тканей, перевязку ран и доставку лекарств [4].

Производство экологически чистых серициновых пленок из коконового шелка повышает интерес к расширению доступности ресурсов шелководства и использованию материалов на основе серицина. Однако хрупкость и плохая способность серицина к удлинению, а также его уязвимость к влажной среде ограничивают его использование. Чтобы преодолеть эти два недостатка серицина, был приготовлен функциональный нанокристалл, полученный из бактериальной целлюлозы (средний диаметр: 25,4 нм), способный физически укрепить и химически сшить существующие пленки серицина. Улучшение оптических, физико-химических и механических свойств пленки серицина наблюдалось при использовании нанокристаллов бактериальной целлюлозы диальдегида (D-CNC), включенных в матрицу серицина шелка (SS). Эффект физического упрочнения D-CNC пленок из нержавеющей стали улучшает механические свойства пленок. В то же время химическая реакция сшивки D-CNC придает пленкам защиту от ультрафиолета, водостойкость и антиоксидантные свойства. Одновременное изготовление, физическое упрочнение и химическое сшивание биокompозитной пленки SS/D-CNC, полученной из водного раствора, дает представление о повышении функциональности и эффективности водорастворимых биополимерных материалов, особенно гидрофильных белковых ресурсов [5–9].

Методы исследования. Анализ белка проводили методом Кьельдалла на приборе КДН-04С. Процесс состоит из четырех этапов: минерализация, дистилляция, титрование и расчет.

Минерализация. Для эксперимента каждый образец корня измельчали и брали в количестве 0,1 г каждый. Из 2-х кьельтабов (таблеток) в минерализационной части 98 % концентрация серной кислоты. был использован раствор. В качестве катализатора использовали селен (Se) в количестве 0,2 г для каждого анализа.

Дистилляция – готовили 37–40 % раствор щелочи (NaOH) для анализа по Кьельдалю. Для сбора аммиака, выделенного при каждом анализе, использовали 50 мл раствор 4 % борной кислоты (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Когда аппарат был технически готов к полноценной работе, аммиак поглощался борной кислотой.

Титрование. В качестве индикатора титрования мы используем 2 % метилцианид. В каждую пропитанную аммиаком колбу прибавляют по 4–5 капель метиловой канифоли и концентрируют до бледно-розового цвета (pH = 3–4). Для титрования использовали 0,05 N раствор отработанной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Вычисление:

$$x = \frac{(V_2 - V_1) * N * 0.014 * F}{m} * 100,$$

где X – количественное содержание белка в процентах (%); V<sub>2</sub> – объем кислоты (n = 0,05; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), использованный для титрования проб; V<sub>1</sub> – объем кислоты (n = 0,05; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), использованный для стандартной пробы; N – нормальность кислоты; F – 6,25 (коэффициент, используемый при анализе белков); M – масса образца.

Для минерализации пробы, то есть превращения ее в прозрачный раствор, брали 200 мг аналитических весов (аналитические весы FA220 4N XYSSCALE мин. 0,0001 г). Для минерализации образца использовали устройство минерализации (MILESTONE Ethos Easy, Италия). Для этого в пробирку прибора помещают навеску (200 мг), 6 мл азотной кислоты (HNO<sub>3</sub>), очищенной на основе перегонки, т. е. дистиллированной кислоты и окислителя в аппарате для очистки кислоты, работающем на основе инфракрасный свет (Дистилляцид BSB-939-IR). Добавляют 2 мл перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). При этом, вся смесь минерализуется при 1800 °C в течение 40 мин. После завершения процесса минерализации смесь в пробирке переносят в отдельную коническую мерную колбу и разбавляют бидистиллированной водой (BIOSAN, Латвия) до объема 25 мл. Раствор в колбе помещается в специальные пробирки в отдел автоотбора для анализа. Подготовленный образец анализировали на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой Avio200 ISP – OES (Perkin Elmer, США). Уровень точности прибора высокий и позволяет измерять элементы в растворе с точностью до 10<sup>-9</sup> г.

Результаты и их обсуждение. В статье описан процесс антибактериального содержания металлов в коконе и фиброине натурального шелка. То есть рассматривались три образца коконов и серицина, выделенных из фиброина натурального шелка, и результаты привитого сополимера серицина с акриловой кислотой. На начальном этапе процесса изучали процентное содержание белков в коконе, натурального фиброина шелка и серицина (таблица 1).

Таблица 1 – Вычисленное значение содержания белка в составе разных типов образцов, имеющие различного происхождения и природы

Наименование образца	Масса образца	Израсходованное объемная концентрация серной кислоты при C <sub>N</sub> = 0,05 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , (мл)			Общее количество белка (%)
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	ΔV	
Кокон (Los)	0,175	1,6	2,65	1,05	2,63
Фиброин (натуральный шелк)	0,4	1,6	4,2	2,6	2,84
Кокон (Китай)	0,33	1,6	3	1,4	1,86
Кокон (Atlas)	0,438	1,6	3,3	1,7	1,70
Серицин	0,28	1,6	9,4	7,8	12,2
Сополимер	0,54	1,6	4,1	2,5	2,03

Результаты в таблице показывают, что масса образца и количество серной кислоты, использованной для каждого образца, одинаковы. Это следует понимать как доказательство того, что серицин хорошо растворяется в воде. Кроме того, когда будем исследовать тип антибактериальных металлов, входящих в состав белков, того или иного происхождения и

природы сополимеров (таблица 2), необходимо следует обратить внимание на изменения значение экспериментальных значений по таблице ниже. По результатам экспериментальных данных таблицы установлено, что основной антибактериальной свойством обладает металлический ион Серебра ( $Ag^+$ ), концентрация у которого равна 0 мг. Однако имеется возможность усиления антибактериального характера способности веществ, путем проведения процесса реакции сополимеризации, механизмом заключающимся в осуществлении прививки свободных радикалов к растущим цепям макромолекул природных полимеров.

Таблица 2 – Количественное массовое содержание ионов металлов в составе белковых образцов разной природы и происхождения

Наименование	Разновидность ионов металлов и их массовая концентрация по весу (мг /100 г)								
	Mn <sup>+2</sup>	Cr <sup>+3</sup>	As <sup>+3</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Li <sup>+</sup>	S <sup>-2</sup>	Al <sup>+3</sup>	Ba <sup>+2</sup>
Сырой шелк	0,696	0,566	0,266	78,097	441,227	0,225	0	22,019	1,000
Кокон (Atlas)	0,404	0,412	0,399	60,439	302,005	0,146	0	4,424	0,176
Кокон (шелк)	0,566	0,492	0,364	44,773	381,629	0,132	0	5,588	0,182
Серицин	2,748	0,838	0,349	56,418	377,287	0,124	0	3,353	0,633
Лос	1,592	0,369	0,121	84,120	186,166	0,466	0	7,950	0,633
продолжение									
Наименование	Co <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Se <sup>+3</sup>	B <sup>+5</sup>	Ni <sup>+2</sup>	Zn <sup>+2</sup>	Fe <sup>+3</sup>	Cu <sup>+2</sup>	Hg <sup>+</sup>
Сырой шелк	0	57,979	1,671	1,037	1,570	4,144	36,866	0,871	0
Кокон (Atlas)	0	54,819	2,458	0,569	0,839	0,361	7,889	0,228	0
Кокон (шелк)	0	31,304	2,182	0,408	0,790	0,325	7,628	0,308	0
Серицин	0	31,932	1,356	1,615	1,591	31,528	7,048	0,804	0
Лос	0	13,222	0,518	1,007	2,395	2,116	14,698	1,209	0
продолжение									
Наименование	V <sup>+4</sup>	Mo <sup>+6</sup>	Sn <sup>+2</sup>	Ag <sup>+</sup>	Pb <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sup>+5</sup>	Cd <sup>+2</sup>	Sb <sup>+5</sup>
Сырой шелк	0,514	0,097	1,627	0	0,165	40,777	26,772	0,244	0,166
Кокон (Atlas)	0,320	0,057	1,152	0	0,059	8,715	28,174	0,163	0,115
Кокон (шелк)	0,288	0,044	0,983	0	0,052	6,645	27,867	0,145	0,099
Серицин	0,176	0,172	0,595	0	0,030	57,371	121,833	0,088	0,058
Лос	1,015	0,082	2,726	0	0,160	47,595	26,064	0,468	0,308

Заключение. По результатам экспериментальных данных можно сделать следующие выводы о том, что серицин, выделенный из кокона, шелка и его сополимер проанализированы на наличие в крови антибактериальных металлов. Изучены состав белковых металло-композиатов, исследованы наличие ионов металлов в составе белков, даже если они находятся в небольших объемах и незначительных количествах. Физико-химические спектроскопические методы анализов указывают сделать вывод о том, что антибактериальные металлические ионы связываются с волокнообразующими мономерами во время осуществления привитого механизма процесса сополимеризации с их участием. Хотя, присутствие драгметаллов, в частности, серебра ( $Ag$ ) так часто не упоминается, но, из литературы известно, что другие металлы, например, цинк ( $Zn$ ) и алюминий ( $Al$ ) обладают наилучшими антибактериальными свойствами.

#### Список использованных источников

1. Jia Liu, Lin Shi Yan Deng, Meizhen Zou, Bo Cai, Yu Song, Zheng Wang, Lin Wang // Silk sericin-based materials for biomedical applications // *Biomaterials*, Volume 287, August 2022, 121638.
2. Rémi Bascou, Julie Hardouin, Mohamed Amine Ben Mlouka, Erwann Guénin. // Detailed investigation on new chemical-free methods for silk sericin extraction. *Materials today communications*, Volume 33, December 2022, 10449.
3. A. S. Rafikov, N. D. Nabiyev, S. X. Karimov // Physicochemical properties of graft copolymers of collagen and fibroin with polyacrylic acid // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* this link is disabled, 2021, 939 (1), 012075.
4. Сатиш Сундар Дилип Кумар Хайди Абрахамсе. Глава 10. Наноматериалы на основе

- серицина и их применение в доставке лекарств // Bio-Based Nanomaterials. Протоколы синтеза, механизмы и приложения. Микро- и нанотехнологии, 2022, с. 211–229.
5. Чон Мин Нам, Юджин Хён, Субин О., Джинсок Парк, Хён-Джун Джин Хё, Вон Квак. Влияние сшиваемых нанокристаллов бактериальной целлюлозы на физико-химические свойства шелковых серициновых пленок // Тестирование полимеров, Том 97, май 2021, 107161.
  6. Мунджу Шин, Седжун Ян, Хё Вон Квак, Ки Хун Ли. Синтез наночастиц золота с использованием серицина шелка в качестве восстанавливающего и закрывающего агента // European Polymer Journal, Volume 164, 5 февраля 2022 г., 110960.
  7. Pornchai Rachtanapun, Araya Kodsangma, Nattagarn Homsaard, Sudarut Nadon, Pensak Jantrawut, Warintorn Ruksiriwanich Phisit, Seesuriyachan Noppol Leksawasdi Yuthana, Phimolsiripol, Thanongsak Chaiyaso, Suphat Phongthai, Sarana Rose Sommano, Чарин Течапун, Тошиаки Угизава, Тосак Киттикорн, Сути Вангтуай, Джо М. Регенштейн, Киттисак Джантанасакулвонг. Термопластичные смеси крахмала бобов мунг/натуральный каучук/серицин для повышения маслостойкости // Международный журнал биологических макромолекул, Том 188, 1 октября 2021 г., с. 283–289.
  8. Джеймс Спаркс Крис Холланд. Реологические свойства нативного серицина // Acta Biomaterialia, Volume 69, 15 марта 2018 г., с. 234–242.
  9. Реми Баску, Джули Хардуэн, Мохамед Амин Бен Млука, Эрванн Генен, Алла Нестеренко. Подробное исследование новых безхимических методов экстракции серицина из шелка // Materials today communications, Volume 33, декабрь 2022, 104491.

УДК 675.926.2

## **ОЦЕНКА ГИГИЕНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКОКОЖ ОДЕЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

***Марущак Ю. И., асп., Ясинская Н. Н., д.т.н., доц.***

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье представлены результаты исследования гигиенических свойств экокож белорусского производства. Доказано, что такие материалы с микропористым полиуретановым покрытием, производимые по современным технологиям, не уступают по качеству искусственным кожам и успешно заменяют кожи натурального происхождения при изготовлении одежды второго слоя.

Ключевые слова: паропроницаемость, воздухопроницаемость, гигроскопичность, водопоглощение, микропористый полиуретан, ткань.

Главным направлением развития текстильной промышленности является разработка и создание инновационных материалов, а также совершенствование существующих технологий. Получаемые материалы должны быть нацелены на обеспечение комфорта человека, и в то же время позволять достигать новых художественных эффектов при проектировании изделий [1].

Натуральные и искусственные кожи широко применяются при производстве одежды, кожгалантерейных изделий и обуви. Наибольший интерес с гигиенической точки зрения представляют кожи, используемые для одежды второго слоя, поскольку такие материалы должны формировать оптимальный микроклимат в пододежном пространстве и обеспечивать максимальный комфорт при эксплуатации изделий. Искусственные кожи не всегда обеспечивают удовлетворительные гигиенические показатели, поскольку монолитный полимерный слой делает такие материалы непроницаемыми для пара и воздуха [2]. На сегодняшний день технологии совершенствуются и все большую популярность приобретают кожи с лицевым микропористым полиуретановым покрытием на тканой основе (экокожи), обладающие повышенными показателями паро- и воздухопроницаемости, а также гигроскопичности.

Экокожи являются популярным материалом для производства одежды второго и третьего слоя. В Беларуси формирование ассортимента подобного материала