

УДК 677.027.422

Экстрагирование натуральных красителей из трутовых грибов для окрашивания шерстяной пряжи

Extraction of natural dyes from fungus for dyeing wollen yarn

М. Д. Кириллова¹, Н. В. Скобова¹

¹*Витебский государственный технологический университет,
Витебск, Беларусь*

M. D. Kirillova¹, N. V. Skobova¹

¹*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

Аннотация. Представлены результаты исследования экстрагирования натуральных красителей из трутовых грибов для окрашивания шерстяной пряжи. Актуальность обусловлена необходимостью снижения экологической нагрузки текстильной отрасли и поиском возобновляемых пигментных систем с приемлемой эксплуатационной стойкостью. Цель работы – оценить красильную способность и светостойкость пигментов различных видов Polyporaceae при крашении без протрав. Задачи включали отбор сырья, оптимизацию температурно-временных параметров и модуля ванны, проведении окрашивания с последующей оценкой степени устойчивости полученных выкрасок пряжи к ультрафиолету. В качестве методов применены экстрагирование пигментов в водной среде при 95 °С, последующее окрашивание шерстяной пряжи, трёхмесячная УФ-экспозиция и визуальная оценка изменений окраски. Установлено, что наиболее насыщенные оттенки формируются при использовании *Trametes hirsuta*, а наибольшую светоустойчивость демонстрируют трутовики санхван и жёстковолосистый; трутовик разноцветный отличается пониженной светостойкостью. Показана технологическая реализуемость применения пигментов трутовиков для окраски белковых волокон, обозначены направления оптимизации режимов и использования натуральных протрав для повышения стойкости. Область применения – ремесленное и мал осерийное производство текстильных изделий, элементы экодизайна.

Ключевые слова: натуральные красители; трутовые грибы; шерстяная пряжа; экстрагирование; светостойкость.

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблематика устойчивого развития текстильной отрасли в последние годы вышла на первый план в связи с необходимостью сокращения загрязнения водных экосистем, снижения углеродного следа и перехода к возобновляемым

источникам сырья. Значительную долю экологических и технологических рисков формируют процессы крашения и отделки, связанные с расходом воды, энергоёмкостью, применением синтетических красителей и вспомогательных веществ, а также сложностью очистки сточных вод. Белорусские и зарубежные аналитические обзоры подчёркивают, что именно этапы окрашивания и отделки оказывают непропорционально высокое воздействие на водные ресурсы и токсикологическую нагрузку, особенно в случае плохо биodeградируемых азокрасителей и металлокомплексных систем, требующих многостадийной очистки осадкообразованием и сорбцией [1, 2]. На этом фоне растёт интерес к натуральным красителям растительного и грибного происхождения, способным снизить комплексную токсичность и облегчить биологическую очистку сточных вод при корректном подборе режимов и реагентов.

Исторически натуральные красители широко использовались в традиционных ремёслах на территории Беларуси и соседних регионов, о чём свидетельствуют этнографические и технологические источники, где описаны растительные и грибные пигменты, применявшиеся для окраски шерсти и льна [3]. В рамках современной научной повестки возобновление интереса к биоокраске сопровождается попытками стандартизовать сырьё природного происхождения, описать механизмы взаимодействия пигментов с волокнами и оценить стойкость к свету, стирке и трению по нормативам ISO и ГОСТ. В публикациях последних лет отмечается потенциал грибных пигментов фенольной природы, включая полифенолы, хиноны и меланины, способные формировать устойчивые комплексы с белковыми волокнами за счёт водородных связей, гидрофобных взаимодействий и π - π -сцеплений, а также окислительной поликонденсации на поверхности кератина. При этом проблемой остаётся вариабельность химического состава в зависимости от вида, местообитания и стадии вегетации плодовых тел, что требует сопоставимых по методике экстракции и крашения исследований.

Особый интерес представляют трутовые грибы из семейств Polyporaceae и Ganodermataceae, доступные в значительных объёмах как побочный продукт лесохозяйственной деятельности и сборов дикорастущих плодовых тел. Указывается, что ряд видов, таких как *Trametes versicolor*, *Phellinus linteus* и *Ganoderma lucidum*, аккумулируют фенольные пигменты с заметной окрашивающей способностью, а также антиоксидантные компоненты, потенциально влияющие на фотостабильность окрасок. Несмотря на наличие описательных работ, систематические сопоставления видового состава трутовиков, стандартных параметров водной экстракции и светостойкости окрашенной шерсти остаются

ограниченными. Это обуславливает потребность в экспериментальных исследованиях, ориентированных на прикладные выводы для малосерийного и ремесленного текстильного производства.

Таким образом, из литературного обзора следует постановка задачи: необходимо экспериментально оценить красильный потенциал водных экстрактов ряда доступных видов трутовиков без применения протрав, сопоставить получаемые оттенки и их устойчивость к длительному ультрафиолетовому воздействию, а также определить технологические параметры, требующие оптимизации для повышения насыщенности и светостойкости окраски шерстяной пряжи.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель исследования заключается в изучении возможности использования пигментов трутовых грибов для получения стабильных окрасок на шерстяной пряже при водной экстракции и термокрашении, а также в оценке светостойкости полученных оттенков при длительном воздействии ультрафиолетового излучения. Для достижения цели предполагается провести отбор и идентификацию видов-суррогатов, задать единообразные температурно-временные режимы экстракции и красильной ванны с различным модулем, выполнить окрашивание предварительно смоченной шерстяной пряжи без протрав и без добавления вспомогательных веществ, а затем подвергнуть трёхмесячной экспозиции УФ-излучением образцов с последующей визуальной и инструментальной фиксацией изменения оттенка и насыщенности. Частные задачи включают описание роли температурного фактора и модуля ванны в формировании цвета, а также формулирование практических рекомендаций по применению натуральных протрав и корректировке рН с целью повышения светостойкости без значительного усложнения технологического процесса.

III. ТЕОРИЯ

В качестве сырья использовались высушенные плодовые тела нескольких видов трутовиков:

- а) Трутовик разноцветный (*Trametes versicolor*): образцы 1, 2, 5.
- б) Трутовик еловый (*Polystictus circinatus*): образец 3.
- в) Трутовик жёстковолосистый (*Trametes hirsuta*): образец 4.
- г) Трутовик лакированный (*Ganoderma lucidum*): образец 6.
- д) Трутовик санхван (*Phellinus linteus*): образец 7.

Сырьё изображено на рис. 1.



Рис. 1. Используемое сырьё

Морфологически сырьё различалось по окраске корковых слоёв, плотности и характеру опушения, что коррелирует с потенциальными оттенками на шерсти. В некоторых источниках отмечается, что полифенолы и хиноны трутовиков при нагревании в водной среде переходят в раствор с образованием окрашенных экстрактов, а при контакте с белковыми волокнами проявляют аффинитет за счёт нековалентных взаимодействий, которые усиливаются при повышенных температурах и в условиях слабокислого рН. Дополнительно указывается, что присутствие меланиноподобных полимеров способно улучшать светостойкость за счёт способности рассеивать и поглощать УФ-кванты, однако такие фракции могут снижать чистоту тона, придавая окраске землистые или дымчатые оттенки [4].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экстрагирование пигментов проводилось в дистиллированной воде при соотношении сырьё: вода 1:10 для образцов, соответствующих *Trametes hirsuta* и *Phellinus linteus*, а также для одного из образцов *Trametes versicolor*, и 1:5 для остальных образцов *Trametes versicolor*, *Polystictus circinatus* и *Ganoderma lucidum*. Температура поддерживалась на уровне 95 °С в течение 60 минут в условиях водяной бани, после чего сырьё удаляли, а в полученный фильтрат вводили предварительно смоченную шерстяную пряжу. Процесс окраски вели

при 95 °С ещё 60 минут с умеренным перемешиванием, обеспечивая равномерный контакт волокна с красильной средой. В результате были получены образцы светло-охристых и золотистых тонов. Результаты окрашивания изображены на рис. 2.



Рис. 2. Результат окрашивания шерстяной пряжи

Наиболее насыщенные окраски наблюдались у образцов, окрашенных экстрактами из *Trametes hirsuta* (образец 4) и *Trametes versicolor* (образцы 1 и 5), что соответствует данным о высокой доле фенольных хромофоров в данных видах. Трутовик еловый и трутовик санхван (образцы 3 и 7) обеспечили достаточно ровные, но умеренно насыщенные окраски, пригодные для пастельной колористики. При использовании *Ganoderma lucidum* (образец 6) отмечены наиболее приглушённые тона, вероятно связанные с вкладом меланиноподобных фракций и меньшей суммарной концентрацией растворимых хиноидных компонентов при заданном модуле ванны. На всех образцах отмечается атласный блеск (шелковистый гриф).

Светостойкость (рис. 3) оценивали по изменению цвета после воздействия УФ-излучения от естественного источника. Визуальная оценка показала, что максимальную устойчивость продемонстрировали образцы, окрашенные экстрактами, полученными из *Phellinus linteus* (образец 7) и *Trametes hirsuta* (образец 4), далее следовали *Trametes versicolor* (образец 1) и *Ganoderma lucidum* (образец 6). Наименьшую устойчивость продемонстрировали окраски, полученные из *Trametes versicolor* (образец 2) и один из вариантов *Trametes*

versicolor (образец 5). Отмеченное распределение устойчивости может быть связано с различиями в соотношении конденсированных фенолов, хиноидных компонентов и меланиноподобных фракций в экстрактах. Примечательно, что различия в модуле ванны оказали ожидаемое влияние на степень насыщенности: меньший модуль 1:5 обеспечивал более глубокий тон, однако не всегда приводил к улучшению фотостабильности, поскольку последняя в большей степени определялась качественным составом пигментных фракций, нежели их концентрацией в ванне.



Рис. 3. Пряжа после УФ воздействия в течение 3 месяцев

С технологической точки зрения отмечается, что окрашивание трutowиками без протрав уже обеспечивает удовлетворительную фиксацию пигментов на шерсти при высокой температуре, однако устойчивость к свету и последующим влажным воздействиям может быть повышена за счёт корректировки рН до слабокислых значений и использования мягких натуральных протрав на основе алюинокалиевых квасцов. В ряде случаев введение протрав потенциально улучшает насыщенность за счёт координационных взаимодействий между ионами металлов и фенольными группами пигмента, что усиливает прочность связи «краситель – волокно». Вместе с тем следует учитывать риск потемнения и изменения тона при избыточной концентрации протравы, особенно в присутствии полифункциональных фенолов, склонных к хелатообразованию, а также снижение экологичности применяемой технологии.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные согласуются с современными представлениями о поведении фенольных и хиноидных пигментов в системах «вода – натуральное волокно». Видовые различия между трутовиками наиболее отчётливо проявились в степени насыщенности и характере тона. Так, *Trametes hirsuta* показал высокую красильную способность, что можно связать с благоприятным соотношением растворимых полифенолов и хинонов, легко переходящих в водный экстракт при 95 °С. *Ganoderma lucidum*, напротив, формировал более приглушённые оттенки, что, вероятно, обусловлено присутствием более тяжёлых пигментных фракций и меньшей долей легко сорбируемых хромофоров. Трутовик разноцветный и лакированный заняли промежуточное положение, обеспечивая достаточно ровные, но умеренно насыщенные окраски, пригодные для пастельной колористики.

Практическая значимость работы заключается в подтверждении технологической реализуемости окраски шерсти водными экстрактами трутовиков без использования протрав, что важно для ремесленных и малосерийных производств с ограниченным набором реагентов и высокими требованиями к экологичности. Результаты могут быть использованы при разработке методик учебных лабораторных работ по биоокраске, а также при создании коллекций экологичного текстиля, где допустима вариативность оттенков и ценится натуральная палитра. Для перехода к более широкому применению необходимо обеспечить стандартизацию сырья, включая сезонность сбора, стадию развития плодовых тел и методы сушки, а также разработать простые протоколы корректировки pH и дозировок натуральных протрав, минимизирующих влияние на тон и обеспечивающих прирост светостойкости.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пигменты трутовых грибов представляют собой перспективный возобновляемый источник натуральных красителей для шерстяной пряжи, позволяющий получать выразительные природные оттенки при водной экстракции и термокрашении. Наиболее насыщенные окраски получены при использовании *Trametes hirsuta*, в то время как максимальная устойчивость к ультрафиолетовому излучению отмечена для окрасок, выполненных экстрактами трутовиков жёстковолосистого и санхван. Трутовик разноцветный продемонстрировал низкую светостойкость, что ограничивает его применение в изделиях, эксплуатируемых при высокой инсоляции. Для повышения качества и стабильности

окраски целесообразны оптимизация параметров экстракции – температуры, времени, модуля ванны и рН – и применение мягких натуральных протрав, а также проведение стандартизованных испытаний стойкости по нормам ГОСТ и ISO. Область практического применения результатов включает ремесленную и малосерийную окраску белковых волокон, экодизайн и образовательные практики; переход к промышленному масштабу потребует стандартизации сырьевой базы и воспроизводимых технологических карт.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кириллова Маргарита Дмитриевна. Витебский государственный технологический университет.

Скобова Наталья Викторовна. SPIN-код: 2635-6950. Витебский государственный технологический университет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yaseen D. A., Scholz M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. DOI: 10.1007/s13762-018-2130-z // International Journal of Environmental Science and Technology. 2019. Vol. 16, no. 2. P. 1193–1226. EDN OQLUWD.

2. Амонова М. М., Равшанов К. А. Полимерная композиция для очистки сточных вод от различных примесей текстильного производства. DOI: 10.6060/ivkkt.20196210.5963 // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62, № 10. С. 147–153. EDN MDEXYH.

3. Кричевский Г. Е. Очерки истории отечественного текстиля // Нанотехнологическое общество России : сайт. URL: <http://www.rusnor.org/pubs/reviews/12969.htm> (дата обращения: 06.11.2025).

4. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре : сб. науч. тр. / под ред. С. П. Вассера. Киев : Альтерпрес, 2011. 212 с. Т. 1. ISBN 978-966-542-490-1.