

УДК 677.027.424

А. А. ШИТИКОВА, М.Д. КИРИЛЛОВА, студенты гр. ТЭ-24 (УО «ВГТУ»)
Научный руководитель Н.В. СКОБОВА, к.т.н., доцент (УО «ВГТУ»)
г. Витебск

ТЕХНОЛОГИЯ КРАШЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПИГМЕНТОМ ТРУТОВИКА ОКАЙМЛЁННОГО В ПРИСУТСТВИИ БИОПРОТРАВ

Процессы крашения и отделки текстильных материалов сопровождаются образованием значительных объёмов сточных вод, содержащих широкий спектр химических соединений.

Особую экологическую опасность в технологии крашения натуральными красителями текстильных материалов представляют соли тяжёлых металлов, традиционно применяемые в качестве протрав. Механизм действия классических протрав основан на способности ионов металлов (алюминия, железа, меди, хрома, олова) образовывать устойчивые координационные комплексы с молекулами природных пигментов и функциональными группами белковых или целлюлозных волокон. Образующийся хелатный комплекс «волокно–металл–краситель» обеспечивает высокую прочность окраски и зачастую позволяет варьировать её оттенок. Однако данное преимущество сопряжено с критическим экологическим недостатком: отработанные красильные растворы, содержащие остаточные концентрации ионов металлов, при сбросе в водоёмы инициируют цепь негативных последствий.

Попадая в природные воды, ионы тяжёлых металлов не подвергаются биологическому разложению. Они аккумулируются в донных отложениях, откуда при изменении гидрохимических условий способны вновь переходить в водную толщу, создавая эффект вторичного загрязнения. Токсическое действие металлов на водные организмы проявляется в нарушении ферментативных процессов, угнетении репродуктивной функции и гибели чувствительных видов, что в конечном итоге приводит к деградации водных биоценозов [1].

Одним из способов решения данной проблемы является поиск альтернативных веществ, способных выполнять функцию протравы без сопутствующего токсического эффекта.

Внимание авторов привлекли возможности использования биопротрав - соединений растительного происхождения, богатых дубильными веществами, органическими кислотами и полисахаридами, способными модифицировать поверхность волокна и взаимодействовать с красителем, — например, растений, содержащих танины (раствор коры дуба, зелёный чай). Ранее были получены результаты при использовании в качестве биопротравы сока алоэ вера, винной кислоты, сока квашеной капусты [2].

Объектом исследований выбран трутовик окаймлённый (*Fomitopsis pinicola*) - перспективное сырьё для получения натуральных красящих пигментов, отличающийся широкой распространённостью, возобновляемостью

сырьевой базы. Данный вид дереворазрушающих грибов содержит комплекс меланиновых пигментов, обуславливающих коричневую окраску и локализованных преимущественно в клеточной стенке гриба. При этом влияние кислотно-щелочного баланса среды рабочей ванны и наличия растительных протрав на итоговый цвет окрашенного материала и его стойкость к сухим и мокрым обработкам изучено недостаточно.

Цель настоящей работы заключалась в разработке полностью экологичной технологии крашения шерстяной пряжи с применением пигментов трутовика окаймлённого и биопротрав на основе алоэ вера и зелёного чая, а также в комплексной оценке колористических характеристик, устойчивости окраски к сухим и мокрым обработкам и экологической безопасности сточных вод. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать влияние натуральных модификаторов среды – биопротрав (сухой смеси зелёного чая и сока алоэ вера) – на изменение pH красильного раствора.
2. Оценить изменение оттенка и устойчивость окраски натуральной шерстяной пряжи.
3. Провести тестирование отработанных красильных растворов на биотоксичность на модельном тест-объекте.
4. Определить устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, а также к стирке.

Окрашивали отбеленную шерстяную пряжу [3].

В исследовании использованы два вида биопротрав:

- Сок (гель) алоэ вера – содержит полисахариды, аминокислоты и органические кислоты, способные модифицировать поверхность шерстяного волокна.
- Сухая смесь зелёного чая (в пакетиках) – богата катехинами и танинами, которые могут выступать в роли природных дубильных веществ, повышая сродство красителя к волокну.

Экстрагирование красящих веществ проводилось после ультразвуковой подготовки дробленых частей гриба, традиционным методом в течение одного часа при модуле ванны 1:10. По истечении времени раствор отфильтровывался, полученный первичный экстракт был равномерно распределён на три экспериментальные ёмкости.

В ходе первичного измерения выявлено, что естественная среда экстракта является выражено кислотной: pH = 3,3. Для изменения кислотности и выявления эффекта протравливания были использованы следующие добавки (из расчёта на 100 мл экстракта):

1. Контрольный образец (без добавок).
2. Экстракт с добавлением зелёного чая (5 г на 100 мл экстракта) - pH раствора повысился до значений 5,0.
3. Экстракт с добавлением геля алоэ вера 10% от массы материала – pH=5,5.

Процесс крашения пряжи проходил в течение 1 часа при постоянной температуре 95°C.

При повышении pH среды была отмечена прямая корреляция между кислотностью и цветом раствора. Сдвиг pH в нейтральную сторону (с 3,3 до 5,5) привёл к заметному потемнению самого экстракта в ёмкости (рис. 1). Однако, вопреки ожидаемой прямой зависимости, окрашенная пряжа продемонстрировала обратный эффект: более высокий pH экстракта дал более светлый оттенок волокна.

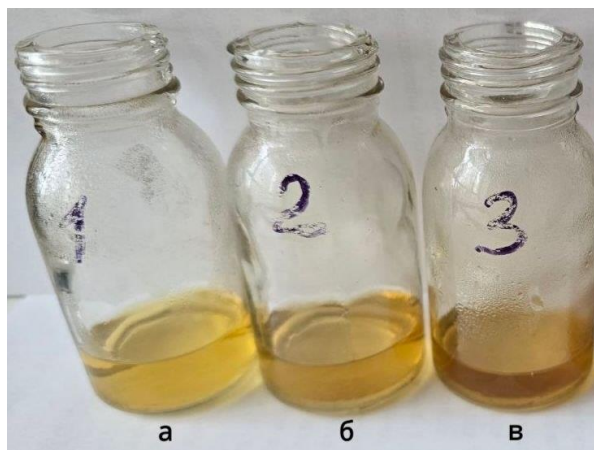


Рисунок 1. Водные растворы-экстракты: а) без протрав; б) алоэ вера; в) зеленый чай

Испытания оценки устойчивости проводили в соответствии со стандартными методиками:

- Устойчивость к сухому и мокрому трению – определяли по интенсивности закрашивания смежной хлопчатобумажной ткани после механического воздействия на окрашенный образец. Испытания проводились на стандартном приборе для определения устойчивости окраски к трению (ПТ-4). Оценка выполнялась по шкале серых эталонов (5 баллов – максимальная устойчивость). ГОСТ 9733.27-83.

- Устойчивость к стирке – оценивали визуально по изменению интенсивности окраски образца и степени закрашивания смежных тканей после обработки в мыльном растворе. ГОСТ ISO 105-C10-2014.

Установлено, что на всех опытных образцах пряжи получена равномерная окраска в коричневых тонах. Использование биопротрав не привело к радикальному изменению цветового оттенка, однако отмечено некоторое углубление тона в варианте с зелёным чаем, что может объясняться дополнительным вкладом собственных дубильных веществ чая в формирование окрашенного комплекса на волокне. При этом образец, окрашенный с добавлением алоэ вера, показал более светлый оттенок, что коррелирует с более высоким значением pH (5,5). Таким образом, варьируя натуральные добавки и уровень pH, можно управлять тоном окраски, получая из одного сырья (трутовик окаймлённый) палитру от тёмно-коричневого до светло-бежевого оттенка.

Результаты испытаний устойчивости окраски представлены в таблице 1. Оценка по 5-балльной шкале.

Все три образца показали максимальный результат (5 баллов) по устойчивости к сухому и мокрому трению и стирке. Это свидетельствует о высокой степени фиксации красителя на волокне и полном отсутствии миграции пигмента как в сухом, так и во влажном состоянии, независимо от применённой протравы. Принципиально важным результатом является то, что достигнутые показатели устойчивости окраски сопоставимы с таковыми при использовании традиционных металлических протрав, но достигаются без внесения в технологический цикл токсичных соединений.

Таблица 1. Результаты испытаний на устойчивость.

Протравы	Устойчивость к...		
	сухому трению	мокрому трению	стирке
Контрольный образец без протрав	5/5	5/5	5/5
Гель алоэ вера	5/5	5/5	5/5
Зелёный чай	5/5	5/5	5/5

Поскольку основной интерес в рамках данной работы сфокусирован не только на колориметрических показателях, но и на оценке экологической безопасности образующихся сточных вод, ключевой задачей исследований стало определение уровня токсичности используемых биопротрав.

Применение в крашении протрав - экстракта зелёного чая и геля алоэ вера - позиционируется как «зелёная» альтернатива химическим закрепителям. Однако их фактическое воздействие на водные экосистемы остаётся малоизученным и требует объективной верификации. В связи с этим был реализован метод биотестирования, позволяющий оценить токсичность отработанных красильных растворов.

В качестве модельного тест-объекта были выбраны пресноводные ракообразные дафнии (*Daphnia magna*), являющиеся признанным биоиндикатором состояния водной среды согласно стандартам ISO 6341. Экспериментальная экспозиция организмов проводилась в течение стандартизированного временного интервала – 24 часа, что позволило проследить динамику острого токсического воздействия компонентов красильной ванны на выживаемость и двигательную активность гидробионтов. Визуализация полученных результатов (фотографии состояния микроорганизмов до и после воздействия) наглядно иллюстрирует характер взаимодействия красильных растворов с живыми существами (рис. 2)

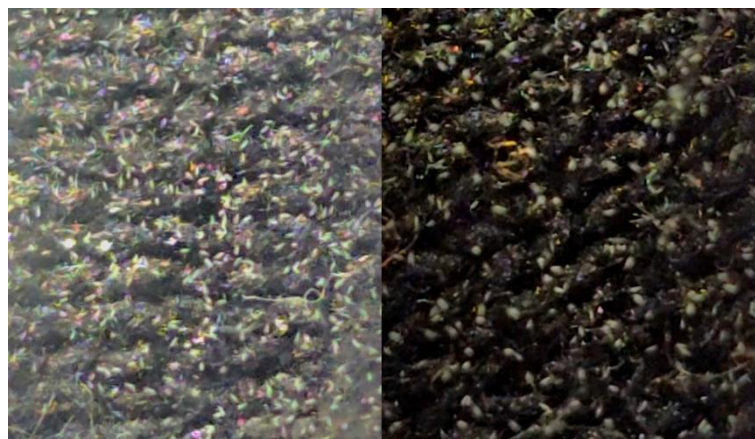


Рисунок 2. Состояние микроорганизмов до и после воздействия

Методика основана на установлении степени токсичности водных растворов из окрашенных материалов по показателю выживаемости тест-организмов за определённый период экспозиции. Выбор дафний в качестве тест-объекта оправдан их высокой чувствительностью к присутствию токсикантов в водной среде и широким применением в практике экотоксикологических исследований.

Водные красильные экстракты, окрашенные с использованием биопротрав, не оказали острого токсического действия на *Daphnia magna*. Выживаемость тест-организмов за период наблюдения (24 часа) составила 100%, что соответствует показателю контрольной группы (их среда). Иммобилизации особей не зафиксировано.

Полученные результаты подтверждают экологическую безопасность разработанной технологии. Отсутствие в составе красильного раствора солей тяжёлых металлов исключает риск токсического загрязнения сточных вод. Компоненты биопротрав (полисахариды алоэ, полифенолы чая) являются природными соединениями, подверженными биологическому разложению в водной среде и не представляющими опасности для гидробионтов.

Выводы, которые можно сделать из данного исследования, таковы.

1. Пигменты трутовика окаймлённого обеспечивают получение устойчивой окраски шерстяного волокна в коричневой гамме без использования токсичных компонентов. Изменение кислотно-щелочного баланса не оказывает негативного влияния на устойчивость окраски к сухому и мокрому истиранию (стабильно 5 баллов).

2. Отказ от металлосодержащих протрав полностью исключает поступление ионов тяжёлых металлов в сточные воды, что подтверждено отрицательными результатами биотестирования на культуре дафний (100% выживаемость, отсутствие иммобилизации).

3. Варьируя натуральные добавки и уровень pH, можно управлять тоном окраски, получая из одного сырья (трутовик окаймлённый) палитру от тёмно-коричневого до светло-бежевого оттенка с гарантированно высокой стойкостью окраски.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением цветовой палитры за счёт использования других видов грибов и лишайников, а также с

изучением влияния биопротрав на светостойкость окраски в условиях длительной экспозиции.

Список литературы:

1. Walters, A., An overview of textiles processing and related environmental concerns[Электронныйресурс] / A. Walters, D. Santillo, P. Johnston // Greenpeace research laboratories: Department of biological sciences. –2005. –June. – Режимдоступа: www.greenpeace.to/publications/textiles 2005.
2. Горохова, А. В. Экотехнология крашения белковых волокон природными красителями в присутствии биопротрав / А. В. Горохова, Н. В. Скобова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2024. – № 1. – С. 59–64.
3. Н. В. Скобова, М. Д. Кириллова, А. А. Шитикова. Интенсификация процесса подготовки трутовика *fomitopsis pinicola* в технологии крашения текстильных материалов // Вестник ВГТУ. 2025. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-protsesssa-podgotovki-trutovika-fomitopsis-pinicola-v-tehnologii-krasheniya-tekstilnyh-materialov> (дата обращения: 09.04.2026).