

Энергосберегающая технология крашения текстильных материалов из белковых волокон природными красителями с использованием натуральных протрав

Н. В. Скобова, А. В. Горохова
Н. Н. Ясинская, Е. П. Попко

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящее время отмечается возрождение интереса к исследованиям и разработкам в области производства и применения натуральных красителей для окрашивания текстильных материалов вследствие растущей популярности экологичного образа жизни, основанного на использовании экологически чистых товаров. В статье представлены результаты исследований экологичной энергоэффективной технологии крашения шерстяной пряжи натуральными красителями, позволяющей снизить нагрузку на сточные воды, повысить интенсивности окраски с сохранением колористической гаммы на текстильном материале за счет использования биопотрав.

Предлагается сокращенная экологичная схема крашения, отличительными особенностями которой являются замена многочасового процесса подготовки природного сырья к крашению на ультразвуковую обработку в течение 40 минут при мощности генератора 70 Вт, что позволяет интенсифицировать экстракцию красящих веществ, снизить расход природного сырья для получения насыщенных окрасок при последующем крашении. Процессы экстрагирования, крашения и протравливания совмещены. Красящие вещества извлекались из дробленого корня лапчатки прямостоячей, растение не токсично, широко используется в медицинских целях. В качестве биопотрав использованы сок Aloe Vera, сок квашеной капусты, винная кислота.

Установлено, что окрашивание шерстяной пряжи водным раствором корней лапчатки целесообразно проводить при температуре рабочей ванны 80 °С, что обеспечит максимальную диффузию молекул красителя в волокно. Совмещение процессов извлечения красящих веществ из природного сырья и крашения, а также снижение температуры рабочей ванны со 100 до 80 °С позволяет значительно снизить энергоемкость технологии колорирования шерстяной пряжи.

Ключевые слова: крашение, природные красители, биопотравы, шерстяная пряжа, ультразвуковое экстрагирование, технологические режимы, колористические свойства.

Информация о статье: поступила 20 мая 2024 года.

Energy-saving technology for dyeing textile materials from protein fibers with natural dyes using natural mordants

Natallia V. Skobova, Anastasia V. Gorohova *Vitebsk State Technological University,*
Natallia N. Yasinskaya, Alena P. Papko *Republic of Belarus*

Abstract. There is currently a renewed interest in research and development in the production and application of natural dyes for dyeing textile materials due to the growing popularity of eco-friendly lifestyles based on the use of environmentally friendly products. The article presents the research results into an environmentally friendly, energy-efficient technology for dyeing wool yarn using natural dyes. The approach aims to reduce the load on wastewater while enhancing color intensity and maintaining the color range of the textile material through the use of biomordants.

A shortened, environmentally friendly dyeing scheme is proposed, the distinctive features of which are the replacement of the many-hour process of preparing natural raw materials for dyeing with ultrasonic treatment for 40 minutes at a generator power of 70W. This treatment intensifies the extraction of dyes and reduces the consumption of natural raw materials, resulting in vibrant colors during subsequent dyeing. The integrated processes of extraction, dyeing and pickling contribute to efficiency. Dyeing substances were extracted from the crushed root of *Potentilla erecta*; the plant is non-toxic and is widely used for medicinal purposes. Biomordants such as Aloe Vera juice, sauerkraut juice, and tartaric acid were used.

The study reveals that it is advisable to dye wool yarn with an aqueous solution of cinquefoil roots at a working bath temperature of 80 °C, which will ensure maximum diffusion of dye molecules into the fiber. By combining dye extraction from natural raw materials and dyeing processes, while reducing the working bath temperature from 100 to 80 °C, the energy intensity of the technology for coloring wool yarn can be significantly reduced.

Keywords: dyeing, natural dyes, bio-dedrants, wool yarn, ultrasonic extraction, technological modes, color properties.

Article info: received May 20, 2024.

Введение

В настоящее время отмечается возрождение интереса к исследованиям и разработкам в области производства и применения натуральных красителей для окрашивания текстильных материалов вследствие растущей популярности экологичного образа жизни, основанного на использовании экологически чистых товаров (Teklemedhin, 2018a; Teklemedhin & Gopalakrishnan, 2018b). Многие исследователи, дизайнеры, художники и ремесленники заинтересованы в применении технологии окрашивания натуральными красителями всех видов текстильных материалов (Benli, 2024), в связи с чем, различные страны, такие как Турция, Корея, Мексика, несколько стран Африки, перешли на использование натуральных красителей (Samanta, 2020).

Природные красители безопасны из-за их нетоксичной, неаллергенной и биоразлагаемой природы (Mohammad Mirjalili & Loghman Karimi, 2013). Натуральное окрашивание в настоящее время используется преимущественно в изделиях ручной работы. Однако во многих развивающихся странах натуральные красители могут выступать в роли не только источника разнообразных красителей, но и как способ приносить доход за счет устойчивого сбора урожая и продажи красящих растений (Habib et al., 2022).

Для лучшей фиксации натурального красителя в волокне используют протравы. Они образуют координационный комплекс с красителем, который прикрепляется к волокну. В результате, протравы повышают стойкость окрашенной пряжи к мокрым обработкам (Ghurde & Hajare, 2023).

В качестве протрав при окрашивании белковых волокон чаще всего используют соли металлов: сульфат железа (III), алюминиевые квасцы, сульфат меди. Использование экстракта растительного красителя, различных типов протрав и режимов протравления дают возможность получать окраски шерсти, не уступающие по своим характеристикам окраскам, полученным с помощью синтетических протравных красителей. Получа-

емые окраски имеют достаточно широкую гамму «благородных» цветов (Шагина и Азимова, 2014).

Экологический аспект применения протрав заключается в токсичном воздействии на сточные воды, например, сульфат меди является экотоксичным и губителен для живых организмов. Однако алюмокалиевые квасцы – безопасный вариант из имеющихся протрав (Шагина и Азимова, 2014).

Альтернативным вариантом, позволяющим сделать технологию крашения природными красителями безвредной для окружающей среды, является применение натуральных протрав. Например, индийскими учеными предлагается использовать экстракт коры мангового дерева (*Mangifera indica*) в качестве протравы для окраски хлопчатобумажных тканей натуральным красителем (Ghurde & Hajare, 2022), либо акацию катеху в качестве биопротравы, заменяющей классические варианты металлических протрав (Yusuf et al., 2017). Чтобы повысить сродство натуральных красителей к текстильному волокну, можно также использовать дубильные вещества (танины). Фенолы, входящие в гидроксильную группу танинов, участвуют в создании поперечных связей с различными красителями и волокном, что помогает закрепить цвет. Дубовая кора и древесина, кожура граната и кукуруза являются сырьем для получения дубильных веществ (Pisitsak et al., 2018). В качестве протрав также можно использовать органические отходы (Benli H., 2024).

Традиционная технология окрашивания натуральными красителями является материало- и энергоемкой. Для получения насыщенных оттенков на материале требуется большой расход заготовленного сырья, длительные процессы замочки с последующим экстрагированием красящего пигмента, последующего этапа крашения, протравление материала. В случае использования наземных частей растения весь цикл занимает около 6–7 часов, подземных частей растения, коры – 12 часов. В связи с этим актуальной задачей является разработка энергосберегающего метода окрашивания текстильных

материалов из натуральных волокон с минимальной нагрузкой на окружающую среду.

Целью работы является разработка экологичной энергоэффективной технологии крашения шерстяной пряжи натуральными красителями, позволяющей снизить нагрузку на сточные воды, повысить интенсивности окраски с сохранением колористической гаммы на текстильном материале за счет использования биопротрав.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований выбрана окрашенная по различным технологиям шерстяная пряжа линейной плотности 200 текс. Красящие вещества извлекались из дробленого корня лапчатки прямостоячей, растение не токсично, широко используется в медицинских целях [Кароматов и Мавлонов, 2017].

В качестве биопротрав использованы сок Aloe Vera, сок квашеной капусты, винная кислота.

Aloe Vera – суккулентное травянистое растение, имеет короткий стебель, от которого отходят длинные изогнутые мясистые листья. В Aloe Vera содержится 8 ферментов: алииназа, щелочная фосфатаза, амилаза, брадикиназа, карбоксипептидаза, каталаза, целлюлаза, липаза и пероксидаза, кроме этого содержатся фе-

нольные соединения – антрахиноны. [Surjushe, Vasani & Saple, 2008].

Квашеная капуста – пищевой продукт, получаемый из капусты при её молочнокислом брожении (квашении). Молочнокислые бактерии, имеющиеся на поверхности свежей капусты, сбрасывают сахара из капустного сока и образуют молочную кислоту [Янченко, 2023]. Сок образуется как побочный продукт при квашении в достаточном количестве для использования в технологии крашения натуральными красителями.

Винная кислота – распространенный химический реактив в виде природного соединения. На вид представляет собой вязкий белый или бесцветный кристаллический порошок без запаха, но с ярко выраженным кислым вкусом, как у лимонной кислоты. Вещество хорошо растворимо в воде и спирте. Эта кислота достаточно широко распространена в естественном виде: содержится во многих фруктах и ягодах, например, в винограде и рябине.

Этапы технологии крашения натуральными красителями по традиционной технологии (схема 1) и по предлагаемой энергоэффективной технологии (схема 2), представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схемы процесса крашения шерстяной пряжи природными красителями
Figure 1 – Schemes of the process of dyeing wool yarn with natural dyes

Согласно схеме 1 корни лапчатки подвергают дроблению и замачивают на 8 часов, после чего экстрагируют растительное сырье в среде горячей воды с температурой 75 °С в течение 100–120 минут, модуль ванны 1:30. Далее раствор отфильтровывают. Пряжу отдельно протравливают в 1 % растворе алюмокалиевых квасцов при температуре 50 °С, в течение 60 минут. Крашение проводят при температуре 90–95 °С в течение 60 минут, модуль ванны 1:50. Для придания пряже более глубокого оттенка проводят ее обработку в теплом слабощелочном растворе (0,25 % раствор аммиака).

Авторами статьи предлагается сокращенная экологичная схема крашения, отличительными особенностями которой являются:

- многочасовой процесс замочки заменен на замочку сырья в течение 20 минут с последующей ультразвуковой обработкой корней лапчатки в течение 40 минут при мощности генератора 70 Вт. Это позволит ускорить процесс вытеснения пузырьков воздуха из клеток растения за счет звукокапиллярного эффекта. Ультразвуковая подготовка интенсифицирует последующий процесс экстракции, рабочий раствор имеет более насыщенный оттенок при меньшем расходе сырья [Скобова, Ясинская и Горохова, 2024];

- совмещены процессы экстрагирования, крашения и протравливания. В красильную ванну добавляют ½ часть от требуемого объема холодной воды и помещают озвученное сырье. Постепенно нагревая ванну до

требуемой температуры проводят экстрагирование в течении 40 минут. Затем вводят в полученный раствор оставшуюся часть холодной воды с добавлением протрав, температура ванны при этом понижается до 40–45 °С. Погружают в красильную ванну смоченные образцы пряжи и выдерживают в течение 10 минут без повышения температуры. Затем повышают температуру до требуемой и ведут крашение пряжи в течении 30 минут. Модуль ванны 1:50;

- для протравливания пряжи использовались биопротравы: 2 % раствор винной кислоты, 4 % раствор сока Aloe Vera, неразбавленный сок квашеной капусты. Красильная ванна с Aloe Vera имела pH = 4,4, с винной кислотой pH = 1,7, с соком квашеной капусты pH = 3,3.

Начальная температура экстрагирования влияет в дальнейшем на цвет окрашиваемого материала [Ёлкина, 1980]. Поэтому на этапе совмещенного процесса экстрагирования, крашения и протравливания устанавливали три уровня температуры: 60, 80, 100 °С для сравнения получаемых на пряже колористических оттенков (рисунок 2).

Озвучивание сырья проводили в ультразвуковой ванне «Сапфир» УЗВ-1,3/2 (ЗАО НПО «Техноком»). Регулируемыми параметрами обработки являются время озвучивания раствора (от 1 до 99 мин), мощность генератора (до 100 Вт) и температура раствора (до 70 °С), нерегулируемым – рабочая частота колебаний (35 кГц) [Ясинская & Скобова, 2020].

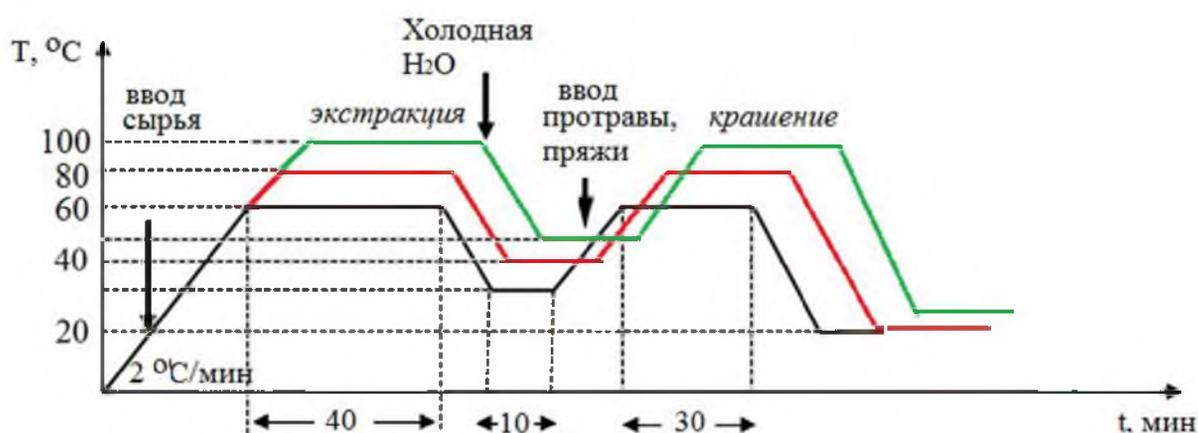


Рисунок 2 – Технологический режим совмещенного процесса экстрагирования, крашения и протравливания
Figure 2 – Technological regime of the combined process of extraction, dyeing and etching

Степень выбираемости красителя волокном определяли спектрофотометрическим методом. В работе использовали спектрофотометр Solar 2201PB, работающий в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Исследования проводились в режиме поглощения на длине волн от 240 нм до 680 нм.

Результаты исследований

Спектрограммы красильных растворов корня лапчатки (без разбавления), взятых из красильной ванны после процесса окрашивания по схеме 2, представлены на рисунке 3, где кривая 1 при температуре крашения 100 °С, 2 – 80 °С, 3 – 60 °С.

Анализ спектрограмм показывает, что низкая температура экстракции и последующего крашения не поз-

воляет в полной мере извлекать красящие вещества из корней лапчатки, а также снижает скорость диффузии красителя в волокно. Максимум спектра приходится на длину волны 340 нм и в интервале 500–550 нм отмечаются множественные пики (рисунок 3 б, 3 в, 3 г). Различия в выбираемости красящих веществ волокном прослеживается на длине волны 550 нм. Максимум спектра соответствует температуре ванны 80 °С, дальнейшее повышение температуры ухудшает процесс диффузии красителя. При крашении в растворе сока квашеной капусты лучшая выбираемость красителя соответствует температуре ванны 100 °С.

Цветовая гамма образцов пряжи, полученных по схеме 1 (рисунок 4) значительно светлее, чем у образцов по

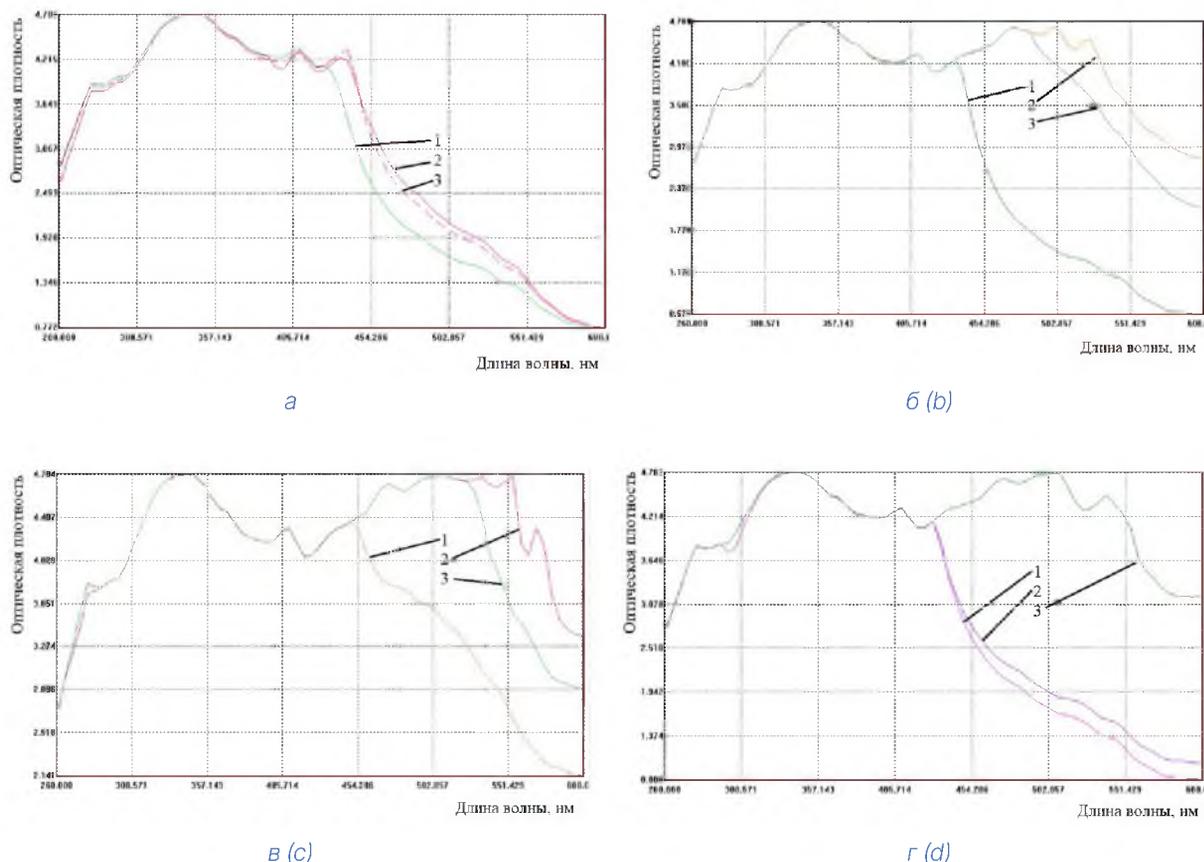
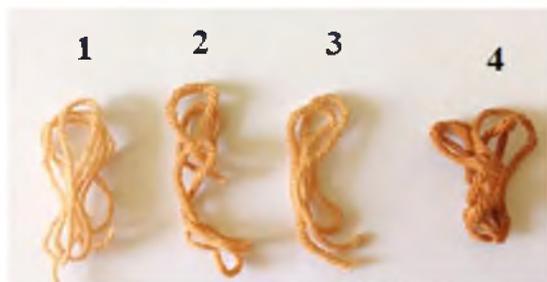


Рисунок 3 – Спектрограммы красильных растворов после крашения: а – без протрав; б – в присутствии сока Aloe Vera; в – в присутствии винной кислоты; г – в присутствии сока квашеной капусты
 Figure 3 – Spectrograms of dyeing solutions after dyeing: a – without mordant; b – in the mordant of Aloe Vera juice; c – in the mordant of tartaric acid; d – in the mordant of sauerkraut juice



1 – контрольный образец (без протравы),
2 – протрава Aloe Vera, 3 – протрава соком
квашеной капусты, 4 – протрава винной кислотой
Рисунок 4 – Образцы пряжи по схеме 1
Figure 4 – Yarn samples according to Scheme 1

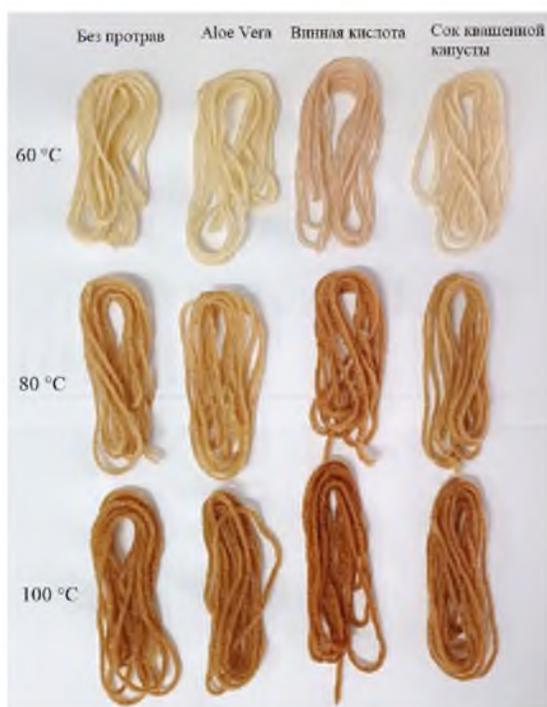


Рисунок 5 – Результат окрашивания пряжи
по энергосберегающей технологии
Figure 5 – Result of yarn dyeing using
energy-saving technology

схеме 2 (рисунок 5, при 100 °C), что подтверждает эффективность сокращенной схемы окрашивания.

Сравнительный анализ колористических эффектов полученных на образцах (рисунок 5) показывает, что при экстрагировании и крашении при температуре 60 °C на пряже получают мягкие пастельные тона: цвет шампанского с использованием Aloe Vera, пыльной розы – с винной кислотой, кремовый оттенок – сок квашеной капусты. По мере увеличения температуры красильной ванны цвет пряжи становится насыщенным, более яркие оттенки соответствуют пряже окрашенной в присутствии винной кислоты. Крашение при максимальной температуре придает пряже яркие, мало различимые цветовые решения, но более насыщенным является цвет, также полученный при использовании винной кислоты.

Анализ полученных результатов

По результатам фитохимического анализа подземных частей лапчатки прямостоячей выявлено присутствие фенольных соединений, в частности, дубильных веществ (танинов) и флавоноидов, проявляющихся на длине волны 280 и 380–410 нм соответственно [Сергалиева, 2023], цвет растворов всех образцов – темно-коричневый.

Дубильные вещества выделяются из растительного сырья в виде смеси полимеров и представляют собой аморфные вещества желтого или желто-бурого цвета, в растениях встречается смесь гидролизующихся и конденсированных дубильных веществ. Танины содержат большое количество групп -ОН, в связи с чем способны образовывать прочные межмолекулярные связи с белками. Под действием кислот гидролизующиеся дубильные вещества распадаются на составные части, конденсированные дубильные вещества – полимеризуются, цвет растворов темнеет [Голиков, 2020].

Анализ спектрограмм растворов без протрав показывает, что при температуре 80 °C достигается максимальная миграция молекул дубильных веществ в волокно, вызванная особой связью с функциональной областью волокна (-NHCO = шерсть) и функциональными группами красителя (-ОН или -ОН и -С = О) за счет переноса ионов в системе [Botteri et al., 2022].

При использовании биопротрав сока Aloe Vera и квашеной капусты, винной кислоты образуется кислая среда рабочей ванны. Шерстяное волокно поглощает танин, содержащийся в экстракте корней лапчатки, за счет электростатического взаимодействия между карбоксильной группой танина и аминогруппой шерстяного

волокна. Низкий уровень pH увеличивает степень ионизации аминогруппы в волокнах шерсти, что приводит к улучшению поглощения красителя (Goutam B & et, 2022, Hosseinnezhad M, 2022).

Устойчивость окраски пряжи к мокрым обработкам показала, что применение протрав способствует закреплению красителя в волокне: устойчивость окраски при температуре 80 и 100 °С при использовании Aloe Vera и сока квашеной капусты – 4 балла, винной кислоты – 4–5 балла. Крашение при 60 °С не позволило получить яркие оттенки, однако устойчивость окраски к мокрым обработкам также составляет 4–5 баллов. Похожие выводы содержатся в работе (Berhanu T & Ratnapandian S., 2017), применение Aloe Vera позволило получить стойкость окраски к мокрым обработкам как

хорошее и превосходное.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено:

- окрашивание шерстяной пряжи водным раствором корней лапчатки целесообразно проводить при температуре рабочей ванны 80 °С, что обеспечит максимальную диффузию молекул красителя в волокно;
- снижение температуры крашения со 100 до 80 °С, а также применение совмещенного способа экстрагирования и крашения снижает энергоемкость технологии крашения природными красителями;
- кислая pH красильной ванны позволяет получить более насыщенные оттенки на пряже и повысить стойкость пряжи к мокрым обработкам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Голиков, В. П. (2020). *Органические хроматические материалы на основе природных красителей в произведениях искусства: природа, технологии приготовления и применения, методы исследования*, Москва, Институт Наследия, 296 с. URL: https://heritage-institute.ru/wp-content/uploads/2020/08/golikov-vp_organicheskie-hromaticheskie-materialy.pdf (accessed 18 April 2024).

Ёлкина, А. К. (1980). Крашение дублировочных материалов естественными органическими и кубовыми красителями. *Художественное наследие. Хранение, исследование, реставрация*, ГОСНИИР, № 6. С. 95–112.

Кароматов, И. Дж. и Мавлонов, С. С. (2017). Лекарственное растение – лапчатка гусиная, ползучая, *Биология и интегративная медицина*, № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lekarstvennoe-rastenie-lapchatka-gusinaya-polzuchaya> (дата обращения: 23.02.2024).

Сергалиева, М. У., Макалатия, М. К., Цибизова, А. А., Ганиуллина, А. Р., Каштанова, О. А., Киракосова, Е. М. и Гостева, О. В. (2023). Фитохимическая оценка биологически активных веществ корневищ *Potentilla Supina L.* *Международный научно-исследовательский журнал*, № 12 (138). URL: <https://research-journal.org/archive/12-138-2023-december/10.23670/IRJ.2023.138.212> (дата обращения: 11.05.2024). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.212.

Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н. и Горохова, А. В. (2024). Применение экстракта корня лапчатки *Potentilla Erecta* в технологии крашения текстильных материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 47, С. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92.

Шагина, Н. А. и Азимова, Ф. Ш. (2014). Экологические аспекты колорирования шерстяной ткани растительными красителями при протравливании солями неограниченных металлов, *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*, Т. 20. С. 2581–2585, URL: <http://e-koncept.ru/2014/54780.htm> (дата обращения 30.04.2024).

Янченко, Е. В., Волкова, Г. С., Куксова, Е. В., Вирченко, И. И., Янченко, А. В., Сербя Е. М. и Иванова М. И. (2023). Химический состав и микробиологические показатели квашеной капусты, приготовленной из разных гибридов, *Техника и технология пищевых производств*. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-i-mikrobiologicheskie-pokazateli-kvashenoy-kapusty-prigotovlennoy-iz-raznyh-gibridov> (дата обращения: 15.04.2024).

Benli, H. (2024). Bio-mordants: a review. *Environmental science and pollution research international*, Vol. 31, pp. 20714–20771. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32174-8> (accessed 12 April 2024).

Berhanu, T. and Ratnapandian, S. (2017). Extraction and optimization of natural dye from Hambo Hambo [*Cassia singueana*] plant used for coloration of tanned leather materials. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2017, Issue 1. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/7516409> (accessed 16 April 2024).

Botteri, L., Miljković, A. and Glogar, M. I. (2022). Influence of Cotton Pre-Treatment on Dyeing with Onion and Pomegranate Peel Extracts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(14), 4547. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27144547> [accessed 23 April 2024].

Ghurde, M. and Hajare, A. (2023). Effect of selected mordants on the application of eco-friendly natural dye from *Spinacia oleracea* L. Leaves, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 12(5): pp. 45–50. DOI: <https://dx.doi.org/10.22271/phyto.2023.v12.i5a.14718>.

Goutam, B. and Debojyoti, G. (2022). Application of Bauhinia Vahlia Bark Extract on Wool Fiber. *Curr Trends Fashion Technol Textile Eng.*, 7(4): 555720. DOI:10.19080/CTFTE.2022.07.555720.

Hosseinnezhad, M., Gharanjig, K., Imani, H. and Razani, N. (2022). Green dyeing of wool yarns with yellow and black myrobalan extract as bio-mordant with natural dyes. *J Nat Fibers*. 19(10): 3893–3915. DOI: 10.1080/15440478.2020.1848735.

Kaur, R., Tomar, A. and Thakur, G. (2017). Natural dyes as colorants for food and textiles [Online], *IJTRS*, Vol. 2, Iss. XI, pp. 714–719, available at: https://www.ijtrs.com/uploaded_paper/NATURAL%20DYES%20AS%20COLORANTS%20FOR%20FOOD%20AND%20TEXTILES.pdf [accessed 16 April 2024].

Mirjalili, M. and Karimi, L. (2013). Extraction and Characterization of Natural Dye from Green Walnut Shells and Its Use in Dyeing Polyamide: Focus on Antibacterial Properties, *Journal of Chemistry*, Vol. 2013, available at: <https://doi.org/10.1155/2013/375352> [accessed 16 April 2024].

Neil E. Schore and K. Peter C. Vollhardt (2011). *Organische Chemie*, John Wiley & Sons, S. 166.

Noman Habib, Waseem Akram, Shahid Adeel, Nimra Amin, Mozghan Hosseinnezhad and Ehsan UI Haq (2022). Environmental-friendly extraction of Peepal (*Ficus Religiosa*) bark-based reddish brown tannin natural dye for silk coloration. *Environmental science and pollution research international*, Vol. 29, 23: 35048–35060. DOI:10.1007/s11356-022-18507-5.

Pisitsak, P., Tungsombatvisit, N. and Singhanu, K. (2018). Utilization of waste protein from Antarctic krill oil production and natural dye to impart durable UV-properties to cotton textiles. *J Clean Prod*. 174: pp. 1215–1223. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.010.

Samanta, P. (2020). A Review on Application of Natural Dyes on Textile Fabrics and Its Revival Strategy. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *Intech Open*, Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90038> [accessed 15 January 2024].

Surjushe, A., Vasani, R. and Saple, D. (2008). Aloe vera: a short review. *Indian J Dermatol*, Vol. 53, № 4, pp. 163–166.

Teklemehdin, T. B. (2018). Dyeing of Wool Fabric Using Natural Dye and Natural Mordant Extracts, *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*, Vol. 4, Iss. 4, pp. 538–542. DOI: 10.31031/TTEFT.2018.04.000593.

Teklemehdin, T. B. and Gopalakrishnan, L. H. (2018). Environmental friendly dyeing of silk fabric with natural dye extracted from *Cassia singueana* plant, *J Textile Sci Eng* S3: 001. DOI: 10.4172/2165-8064.S3-001.

Yusuf, Mohd, Mohammad, Faqeer, Shabbir, Mohd and Khan, Mohammad (2016). Eco-dyeing of wool with *Rubia cordifolia* root extract: Assessment of the effect of *Acacia catechu* as biomordant on color and fastness properties. *Textiles and Clothing Sustainability*. 2. 1-9. 10.1186/s40689-016-0021-6.

REFERENCES

Golikov, V. P. (2020). Organic chromatic materials based on natural dyes in works of art: nature, preparation and application technologies, research methods [Organicheskie hromaticheskie materialy na osnove prirodnyh krasitelej v proizvedenijah iskusstva: priroda, tehnologii prigotovlenija i primenenija, metody issledovanija], *Institut Nasledija = Heritage Institute*, Moscow, 296 p. URL: https://heritage-institute.ru/wp-content/uploads/2020/08/golikov-vp_organicheskie-hromaticheskie-materialy.pdf [accessed April 18, 2024]. [In Russian]

Yolkina, A. K. (1980). Dyeing of duplicating materials with natural organic and vat dyes [Krashenie dublirovocnyh materialov estestvennymi organicheskimi i kubovymi krasiteljami]. *Artistic heritage. Storage, research, restoration*, GOSNIIR, № 6. P. 95–112.

Karomatov, I. J. and Mavlonov, S. S. (2017). Medicinal plant – cinquefoil goose, creeping [Lekarstvennoe rastenie – lapchatka gusinjaja, polzuchajaja], *Biologija i integrativnaja medicina = Biology and Integrative Medicine*, № 2. URL: <https://>

cyberleninka.ru/article/n/lekarstvenoe-rastenie-lapchatka-gusinaya-polzuchaya [accessed: 23.02.2024] [In Russian].

Sergaliev, M. U., Makalati, M. K., Tsbizova, A. A., Ganiullina, A. R., Kashtanova, O. A., Kirakosova, E. M. and Gosteva, O. V. (2023). Phytochemical assessment of biologically active substances of the rhizomes of *Potentilla Supina* L. [Fitohimicheskaja ocenka biologicheski aktivnyh veshhestv kornevishh *Potentilla Supina* L.], *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Scientific Research Journal*, № 12 (138). URL: <https://research-journal.org/archive/12-138-2023-december/10.23670/IRJ.2023.138.212> [accessed: 11.05.2024]. DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.212 [In Russian].

Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N. and Gorokhova, A. V. (2024). Application of *Potentilla Erecta* root extract in textile dyeing technology [Primenenie jekstrakta kornja lapchatki *Potentilla Erecta* v tehnologii krashenija tekstil'nyh materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, № 47, P. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92 [In Russian].

Shagina, N. A. and Azimova, F. Sh. (2014). Environmental aspects of coloring wool fabric with vegetable dyes when etching with salts of non-boundary metals [Jekologicheskie aspekty kolorirovanija sherstjanoj tkani rastitel'nymi krasiteljami pri protravlivanii soljami neogranicheskikh metallov], *Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal «Koncept» = Scientific and methodological electronic journal "Concept"*, Vol. 20. P. 2581–2585, URL: <http://e-koncept.ru/2014/54780.htm> [accessed 30.04.2024] [In Russian].

Yanchenko, E. V., Volkova, G. S., Kuksova, E. V., Virchenko, I. I., Yanchenko, A. V., Serba, E. M. and Ivanova, M. I. (2023). Chemical composition and microbiological parameters of sauerkraut prepared from different hybrids [Himicheskij sostav i mikrobiologicheskie pokazateli kvashennoj kapusty, prigotovlennoj iz raznyh gibridov], *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv=Equipment and technology of food production*. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskij-sostav-i-mikrobiologicheskie-pokazateli-kvashennoj-kapusty-prigotovlennoj-iz-raznyh-gibridov> [accessed: 15.04.2024] [In Russian].

Benli, H. (2024). Bio-mordants: a review. *Environmental science and pollution research international*, Vol. 31, pp. 20714–20771. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32174-8> [accessed: 12 April 2024].

Berhanu, T. and Ratnapandian, S. (2017). Extraction and optimization of natural dye from Hambo Hambo [*Cassia singueana*] plant used for coloration of tanned leather materials. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2017, Issue 1. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/7516409> [accessed 16 April 2024].

Botteri, L., Miljković, A. and Glogar, M. I. (2022). Influence of Cotton Pre-Treatment on Dyeing with Onion and Pomegranate Peel Extracts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(14), 4547. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27144547> [accessed: 23 April 2024].

Ghurde, M. and Hajare, A. (2023). Effect of selected mordants on the application of eco-friendly natural dye from *Spinacia oleracea* L. Leaves, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 12(5): pp. 45–50. DOI: <https://dx.doi.org/10.22271/phyto.2023.v12.i5a.14718>.

Goutam, B. and Debojyoti, G. (2022). Application of *Bauhinia Vahlia* Bark Extract on Wool Fiber. *Curr Trends Fashion Technol Textile Eng.*, 7(4): 555720. DOI:10.19080/CTFTE.2022.07.555720.

Hosseinnezhad, M., Gharanjig, K., Imani, H. and Razani, N. (2022). Green dyeing of wool yarns with yellow and black myrobalan extract as bio-mordant with natural dyes. *J Nat Fibers*. 19(10): 3893–3915. DOI: 10.1080/15440478.2020.1848735.

Kaur, R., Tomar, A. and Thakur, G. (2017). Natural dyes as colorants for food and textiles [Online], IJTRS, Vol. 2, Iss. XI, pp. 714–719, available at: https://www.ijtrs.com/uploaded_paper/NATURAL%20DYES%20AS%20COLORANTS%20FOR%20FOOD%20AND%20TEXTILES.pdf [accessed 16 April 2024].

Mirjalili, M. and Karimi, L. (2013). Extraction and Characterization of Natural Dye from Green Walnut Shells and Its Use in Dyeing Polyamide: Focus on Antibacterial Properties, *Journal of Chemistry*, Vol. 2013, available at: <https://doi.org/10.1155/2013/375352> [accessed 16 April 2024].

Neil E. Schore and K. Peter C. Vollhardt (2011). *Organische Chemie*, John Wiley & Sons, S. 166.

Noman Habib, Waseem Akram, Shahid Adeel, Nimra Amin, Mozghan Hosseinnezhad and Ehsan Ul Haq (2022). Environmental-friendly extraction of Peepal (*Ficus Religiosa*) bark-based reddish brown tannin natural dye for silk coloration. *Hudozhestvennoe nasledie. Hranenie, issledovanie, restavracija = Environmental science and pollution research international*, Vol. 29,23: 35048–35060. DOI:10.1007/s11356-022-18507-5 [In Russian].

Pisitsak, P., Tungsombatvisit, N. and Singhanu, K. (2018). Utilization of waste protein from Antarctic krill oil production and natural dye to impart durable UV-properties to cotton textiles. *J Clean Prod.* 174: pp. 1215–1223. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.010.

Samanta, P. (2020). A Review on Application of Natural Dyes on Textile Fabrics and Its Revival Strategy. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *Intech Open*, Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90038> [accessed 15 January 2024].

Surjushe, A., Vasani, R. and Saple, D. (2008). Aloe vera: a short review. *Indian J Dermatol*, Vol. 53, N4, pp. 163–166.

Teklemedhin, T. B. (2018) Dyeing of Wool Fabric Using Natural Dye and Natural Mordant Extracts, *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*, Vol. 4, Iss. 4, pp. 538–542. DOI: 10.31031/TTEFT.2018.04.000593.

Teklemedhin, T. B. and Gopalakrishnan, L. H. (2018). Environmental friendly dyeing of silk fabric with natural dye extracted from Cassia singueana plant, *J Textile Sci Eng S3*: 001. DOI: 10.4172/2165-8064.S3-001.

Yusuf, Mohd, Mohammad, Faqeer, Shabbir, Mohd and Khan, Mohammad (2016). Eco-dyeing of wool with Rubia cordifolia root extract: Assessment of the effect of Acacia catechu as biomordant on color and fastness properties. *Textiles and Clothing Sustainability*. 2. 1-9. 10.1186/s40689-016-0021-6.

Информация об авторах

Information about the authors

Скобова Наталья Викторовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Горохова Анастасия Вадимовна

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: gorohova2508@gmail.com

Ясинская Наталья Николаевна

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yasinskayann@rambler.ru

Попко Елена Павловна

Старший преподаватель кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: popkoelenapavl@gmail.com

Natallia V. Skobova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Anastasia V. Gorohova

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: gorohova2508@gmail.com

Natallia N. Yasinskaya

Doctor of Sciences (in Engineering), Chair of the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yasinskayann@rambler.ru

Alena P. Papko

Senior Lecturer of the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: popkoelenapavl@gmail.com