

Применение экстракта корня лапчатки *potentilla erecta* в технологии крашения текстильных материалов

Н.В. Скобова *Витебский государственный технологический университет,*

Н.Н. Ясинская *Республика Беларусь*

А.В. Горохова

Аннотация. В настоящее время для окрашивания текстильных материалов используют синтетические красители, которые характеризуются широкой цветовой гаммой, дешевизной производства, однако, являются экологически небезопасными, так как не поддаются биологическому разложению, вызывают загрязнение поверхностных водных источников, а также создают проблемы с их утилизацией. Разумным решением указанных проблем является использование натуральных красителей.

Предложена технология крашения текстильных материалов из натуральных волокон (хлопок, лен, шерсть) с использованием подземной части растения лапчатки прямостоячей (*Potentilla Erecta*). Известно, что интенсивность окраски текстильного материала в процессе крашения зависит от концентрации красящего вещества в рабочей ванне, повысить которую можно путем увеличения массы растительного сырья в красильной ванне, однако это приведет к еще большей материалоемкости процесса. Целью работы является выбор рациональных параметров подготовки одревесневшего растительного сырья (корней лапчатки) к экстрагированию, обеспечивающих максимальный выход красящего вещества в рабочую ванну при минимальном расходе сырья.

Проведены исследования по выбору оптимального размера частиц сырья и рациональных параметров кавитационной обработки корней растений, обеспечивающих наилучшую экстракцию красящего вещества в рабочий раствор. Установлено, что при ультразвуковой обработке для минимизации коэффициента отражения звуковой энергии, усиления процесса растворения и вымывания красящего вещества из разрушенных клеток размер частиц сырья должен составлять не более 1 мм, мощность генератора не более 70 Вт, длительность обработки 50 минут. Результаты исследований могут быть рекомендованы для подготовки одревесневших частей растений других видов, применяемых в технологии крашения текстильных материалов.

Ключевые слова: корневище лапчатки прямостоячей, дробление, ультразвуковая обработка, спектрограмма, дубильные вещества.

Информация о статье: поступила 15 февраля 2024 года.

Application of centerlin root *potentilla erecta* extract in technology of dyeing of textile materials

Natallia V. Skobova *Vitebsk State Technological University,*

Natallia N. Yasinskaya *Republic of Belarus*

Anastasia V. Gorohova

Abstract. Currently, synthetic dyes are used for dyeing textile materials. These dyes are characterized by a wide range of colors and low production cost. However, they pose environmental risks, since they are not biodegradable, cause pollution of surface water sources, and also create disposal problems. A viable solution to these issues is the use of natural dyes.

A technology has been proposed for dyeing textile materials made from natural fibers (cotton, linen, wool) using the underground part of the *Potentilla Erecta* plant. It is known that the color intensity of textile material during the dyeing process depends on the concentration of the dye in the working bath. This concentration can be increased by augmenting the mass of plant materials in the dyeing bath, but this will lead to a greater material intensity of the process. The purpose of

the work is to select rational parameters for the preparation of lignified plant raw materials (cinquefoil roots) for extraction, ensuring maximum output of the dye into the working bath with minimal consumption of raw materials.

Research has been carried out to select the optimal particle size of raw materials and rational parameters for cavitation treatment of plant roots, ensuring the best extraction of the dye into the working solution. It has been determined that during ultrasonic treatment, in order to minimize the reflection coefficient of sound energy, enhance the process of dissolution and leaching of the dye from destroyed cells, the particle size of the raw material should be no more than 1 mm, the generator power shall not exceed 70 W, and the treatment shall last 50 minutes. The research results can be recommended for the preparation of woody parts of plants of other species used in the technology of dyeing textile materials.

Keywords: *potentilla erecta* rhizome, crushing, ultrasonic treatment, spectrogram, tannins.

Article info: received February 15, 2024.

Введение

На сегодняшний день интерес к природным красителям и пигментам, применяемым в текстильной отрасли, продолжает расти. Это подтверждается многочисленными исследованиями в области разработки и применения натуральных красителей из природных источников (Aroga, Agarwal & Gupta, 2017; Mijas, G. et al., 2022; Mohammed Sayem et al., 2021; Salauddin, 2021; Samanta, 2020). Потребители стали очень внимательно относиться к проблеме загрязнения окружающей среды, что и обуславливает возрождение интереса к экотехнологии крашения текстильных материалов с использованием природного сырья.

Преимущества использования натуральных красителей не вызывают сомнений: экологически чистые, безопасные, легко извлекаемые из возобновляемых природных источников, придают материалам мягкие цветовые эффекты, не вызывают проблем со здоровьем человека (нетоксичны, защита от УФ, гипоаллергенны), не создают проблем при утилизации (полностью биоразлагаемые). Несмотря на перечисленные преимущества, натуральные красители ограничены в применении в широком масштабе, что связано с трудоемкостью их производства, низкой устойчивости к свету и стиркам, ограниченностью цветовой гаммы, сложностью воспроизводства одного и того же цветового оттенка, а в некоторых регионах доступность красителей зависит от времени года.

Очевидно, что натуральные красители не могут заменить синтетические, однако технология натурального крашения текстильных материалов имеет большую перспективу среди производителей, заинтересованных в развитии экологически чистых технологий. В основном, внимание к данному направлению ограничено ремесленниками, небольшими частными компаниями, мел-

кими экспортерами и производителями, занимающимися производством и продажей высококачественного экологичного текстиля. Большой вклад в популяризацию данного направления имеют дизайнеры одежды и декора. Например, белоруска Екатерина Кабанова, основатель бренда РОЕТКА, разрабатывает коллекции двух направлений: аксессуары (платки, шарфы, палантины) и одежда (блузки, платья, брюки, юбки, жакеты, пальто). В качестве сырья ею используются белорусские ягоды, цветы, листья, семена и корни ["Fashion collection", 2018].

Благодаря экологической осведомленности производителей, осознанию степени загрязнения окружающей среды, связанной с синтезом, переработкой и использованием синтетических красителей, натуральные красители могут получить большую популяризацию и интерес среди промышленников и творческих людей.

В настоящее время для окрашивания текстильных материалов используются различные натуральные красители, экстрагируемые из стеблей, листьев, цветков, семян и корней растений, ягод, кожуры, коры деревьев, отходов пищевой промышленности. Пигменты могут быть заключёнными в пластидах или растворёнными в клеточном соке и находятся в органах, например в корнях или стеблях, и в тканях (кора), поэтому сырье может применяться как в свежем, так и в сушеном виде [Тасымбекова, Логинова и Нурмаханкызы, 2018; Ташмухамедов, Кутжанова и Кричевский, 2017].

Наличие многовидовой сырьевой базы на территории Республики Беларусь позволяет провести широкий спектр исследований по выбору растений, содержащих красящие вещества, для колорирования текстильных материалов [Сысой, 2019].

Авторами статьи последние несколько лет ведется работа по разработке технологии экокрашения текстильных материалов [Скобова, Ясинская и Воробьева

2023; Кузнецова и Скобова, 2022) с использованием наземных частей растений (стеблей, соцветий). Для расширения спектра получаемых цветов на материале была поставлена задача изучить особенности применения подземных частей растений – корней, на примере *Potentilla Erecta*.

Как известно, необходимую концентрацию красителя и других вспомогательных веществ в красильном растворе устанавливают в соответствии с требуемой интенсивностью окраски текстильного материала и красящей способностью красителя. При использовании натуральных красителей для получения насыщенных оттенков на материале требуется большой расход сырья, поэтому целью работы является выбор рациональных параметров подготовки растительного сырья (корней лапчатки) к экстрагированию, обеспечивающих максимальный выход красящего вещества в красильную ванну при минимальном расходе сырья.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований выбран корень лапчатки прямостоячей.

Лапчатка прямостоячая (*Potentilla Erecta*) – многолетнее травянистое растение, высотой от 15 до 50 см. Корневище цилиндрическое, деревянистое, короткое, почти горизонтальное, неравномерно утолщённое, изогнутое или прямое (рисунок 1). Значительные запасы лапчатки выявлены в Республике Беларусь, в частности в Витебской области, где она образует заросли на значительной площади, благодаря чему можно проводить заготовку сырья в большом количестве (Губанов, 2003).

Растение не токсично, широко используется в медицинских целях (Кароматов и Мавлонов, 2017). Для крашения текстильных материалов лапчатка разных видов использовалась населением с давних времен, особенно на территориях Украины, Польши и в Беларуси (Köhler, Bystry & Łuczaj, 2023).

Корневище *Potentilla Erecta* содержит 14–31 % дубильных веществ, которые подразделяются на два класса соединений – гидролизуемые и конденсированные танины. Гидролизуемые танины, в свою очередь, включают галлотанины и эллагитанины. Галлотанины при кислотном гидролизе образуют D-глюкозу и галловую кислоту, тогда как эллагитанины дают нерастворимый в воде осадок эллаговой кислоты.

Конденсированные дубильные вещества (проантоцианидины) содержатся в преобладающем количестве в растениях лапчатки, и представлены, как проциани-



Рисунок 1 – Лапчатка прямостоячая (*Potentilla Erecta*)

Figure 1 – Cinquefoil erecta (*Potentilla Erecta*)

динами, так и проделфинидинами (рисунок 2) (Поляков, Калашникова и Киракосян, 2019).

В промышленности танины используются для дубления кожи и меха, приготовления чернил, протравливания текстильных волокон (Зефилов, 1995).

Технологический процесс подготовки растительного сырья и красильной ванны представлен на рисунке 3.

Корни растений собирали в конце сентября, промывали в холодной воде, разрезали на небольшие части и сушили при температуре 50 °С до полного высыхания.

Пигменты определенным образом встроены в мембраны тилакоидов. При получении вытяжки пигментов из растений происходит разрушение пигментбелковых комплексов, а свободные пигменты растворяются в органических растворителях. Процедура извлечения пигментов состоит в механическом разрушении клеточных структур (гомогенизация тканей растений). Поэтому вторым этапом подготовки был процесс дробления сырья с использованием механической дробилки. Полученное дробленое сырье просеивалось через сито с разным размером ячеек, в результате чего были отсортированы фракции с разным размером частиц, размер которых анализировался под микроскопом:

- 1 группа – крупные частицы со средним диаметром 9,12 мм;
- 2 группа – средний диаметр частиц 1,05 мм;

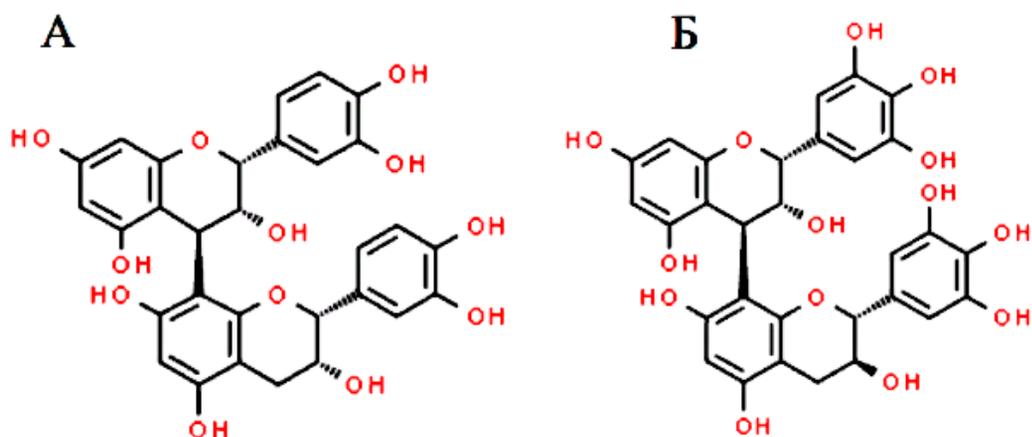


Рисунок 2 – Структура процианидина (А) и проделфинидина (Б)
 Figure 2 – Structure of procyanidin (A) and prodelphinidin (B)

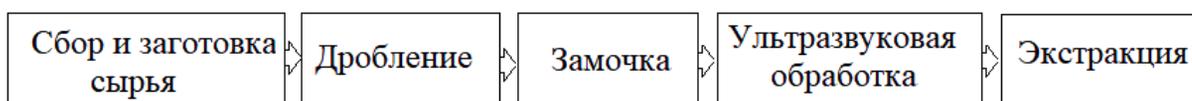


Рисунок 3 – Технологический процесс подготовки красильной ванны из растительного сырья
 Figure 3 – Technological process for preparing a dye bath from plant materials

– 3 группа – средний диаметр частиц 0,55 мм (мелкая фракция).

Замочка сырья всех групп проводилась в течение 30 минут при температуре 40 °С в дистиллированной воде, с последующим его озвучиванием в ультразвуковой ванне в течении 20 минут при мощности генератора 60 Вт (режим выбран исходя из рекомендаций ранее проведенных исследований) [Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Кузнецова, А.О., 2022].

В исследованиях использована лабораторная ультразвуковая ванна «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].

Экстракция растительного сырья проходила в среде горячей воды с температурой 75 °С в течение 60 минут, рН = 5–6. Модуль ванны 1:15. По окончании этапа объем

раствора доводился до первоначального уровня.

Для оценки интенсивности выхода красящего пигмента в водный раствор применялся спектрофотометрический метод анализа полученных растворов. Использование спектрофотометра позволяет количественно и качественно оценивать состав веществ, содержащихся в анализируемой пробе. Основа метода – способность химических соединений взаимодействовать с излучением, поглощая его. В процессе спектрофотометрического исследования находит применение излучение ультрафиолетовой (длина волны 200–400 нм), видимой (400–760 нм) и инфракрасной (760 и более нм) областей спектра.

В исследованиях использован 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 полученных красильных растворов корня лапчатки (без разбавления) представлены на рисунке 4.

Анализ показывает, что ультразвуковая обработка сырья с размером частиц первой и второй группы способствует выходу большего числа красильных веществ, о чем свидетельствует двухволновой спектр диаграммы (линии 2 и 3). После экстракции сырья с малым размером частиц отмечается мутность раствора, спектрограмма водного раствора имеет одноволновой вид.

Из спектрограмм видно, что максимум спектра приходится на длину волны 350 нм и 410 нм – группа дубильных веществ, придающих раствору коричневый оттенок. Наиболее насыщенный оттенок раствора соответствовал образцу, полученному при экстракции частиц 2 группы.

На следующем этапе проведены исследования по выбору оптимальных режимов озвучивания одревесневших частей растительного сырья – корней лапчатки, обеспечивающих максимальный выход красящего вещества в рабочий раствор.

Входными факторами выбраны технологические режимы работы ультразвуковой ванны: мощность генератора и время озвучивания. В качестве выходных параметров исследовали оптическую плотность раствора красильной ванны. Уровни варьирования факторов представлены в таблице 1. Эксперимент проводили по матрице Коно с тремя повторностями в каждой серии опытов.

На длине волны 340 нм оптические плотности растворов имеют близкие значения во всех сериях опытов, поэтому с помощью прикладной программы Statistica for Windows, аппроксимировали зависимость оптической плотности красильного раствора от параметров озвучивания полиномом второй степени для двух длин волн: в ультрафиолетовом и видимом спектре:

– на длине волны 280 нм

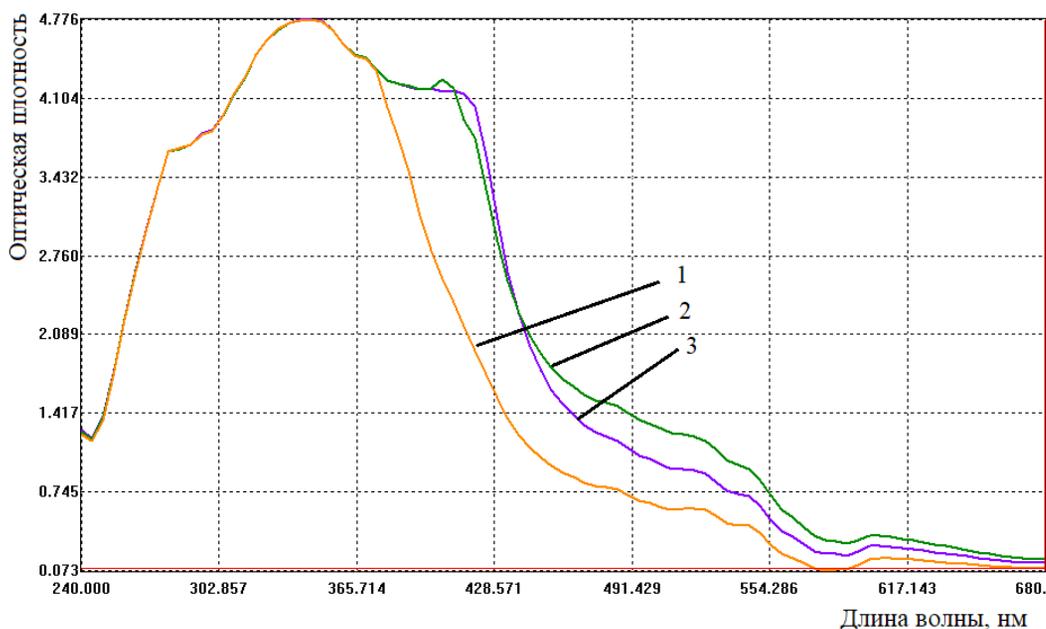
$$D_{280} = 3,903 - 0,056 \cdot W + 0,034 \cdot T + 0,039 \cdot W \cdot T - 0,072 \cdot W^2, \quad (1)$$

$(R^2 = 0,965)$

– на длине волны 430 нм

$$D_{430} = 4,157 - 0,00456 \cdot W + 0,0067 \cdot T - 0,0063 \cdot W^2. \quad (2)$$

$(R^2 = 0,981)$



1 – мелкие фракции (третья группа), 2 – средние фракции (вторая группа), 3 – крупные фракции (первая группа)

Рисунок 4 – Спектрограмма водных растворов корня лапчатки

Figure 4 – Spectrogram of aqueous solutions of Cinquefoil erecta root

Таблица 1 – Уровни варьирования входных факторов

Table 1 – Levels of variation of input factors

Факторы	Натуральные значения			Кодированные значения			Интервал варьирования
	нижний	основной	верхний	нижний	основной	верхний	
Мощность генератора, Вт (x_1)	40	70	100	-1	0	+1	30
Время озвучивания, мин (x_2)	20	40	60	-1	0	+1	20

Для оценки статистической значимости разработанных моделей проведен дисперсионный анализ. В таблице 2 для разработанных уравнений представлена сумма квадратов отклонений регрессии, критерий Фишера (F-value), значение которого для всех рассмотренных моделей значительно больше критического ($F_t = 6,39$), при уровне значимости $p < 0,05$, что указывает на достоверность разработанных моделей.

Анализ уравнений показывает, что на интенсивность окрашивания раствора красильной ванны оказывают влияние оба фактора: мощность генератора и время озвучивания.

По моделям (1) и (2) построены срезы графических образов полученных зависимостей, при фиксированном значении времени озвучивания (рисунок 5).

Анализ полученных результатов

Процесс экстрагирования, как правило, включает две фазы (Пономарев, 1976):

1) осмотическое набухание (замачивание) с растворением содержимого клетки (движение растворителя внутрь клетки);

2) экстрагирование, при котором из клетки через клеточные мембраны, поры и капилляры происходит транспорт макромолекул растворенных веществ в объем растворителя.

Процесс замачивания сухого сырья составляет 4–12 ч, зависит от скорости вытеснения воздуха из клетки, удерживаемого до тех пор, пока не произойдет его растворение в экстрагенте. При этом часть воздуха остается внутри клетки. При ультразвуковом воздействии возникает звукокапиллярный эффект, который не только ускоряет вытеснение пузырьков воздуха, но и создает условия для их растворения в жидкости. Это позволяет сократить время замачивания. В предлагаемой технологии за счет применения ультразвука время замачивания устанавливали 20 минут.

На эффективность процесса экстрагирования оказывает влияние морфо-анатомическое строение сырья и его дисперсность. При обработке сильно одревесневшего сырья – корней лапчатки, имеющих плотную оболочку клеток с малым количеством путепроводящих тканей и межклеточных пространств, размер частиц играет существенную роль при экстрагировании. Для интенсификации этого процесса важно обеспечить высокую степень дисперсности частиц для минимизации коэффициента отражения звуковой энергии, усиления процесса растворения и вымывания содержимого из разрушенных клеток. Чем меньше частицы измельченного сухого сырья, тем больше вновь образовавшихся капиллярных каналов и ниже адсорбционная прочность

Таблица 2 – Оценка значимости разработанных моделей

Table 2 – Assessment of the significance of the developed models

Эффект (Effect)	Сумма квадратов отклонений регрессий (Sum of Squares)	Критерий Фишера (F-value)	Уровень значимости (p-value)
Регрессия для модели (1)	133,7923	34273,68	0,000000
Регрессия для модели (2)	155,2105	10778510,2	0,000000

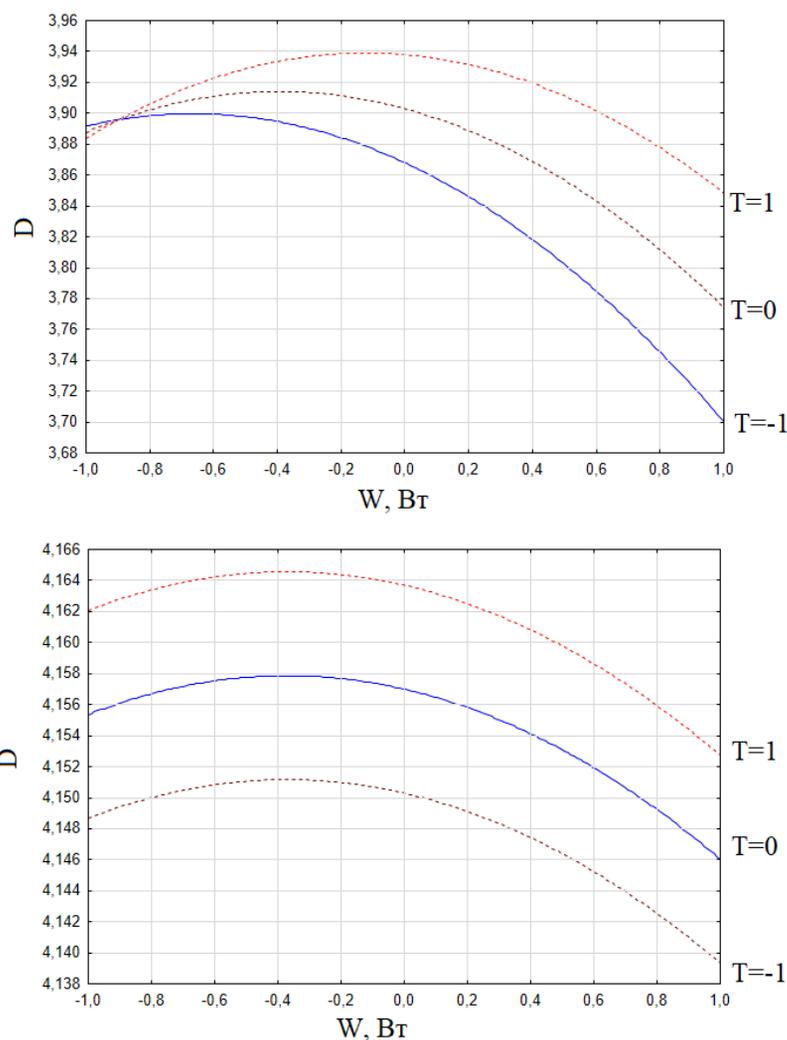


Рисунок 5 – Зависимость оптической плотности красильного раствора от мощности генератора и времени озвучивания на разных длинах волн спектра

Figure 5 – Dependence of the optical density of the dye solution on the generator power and sonication time at different wavelengths of the spectrum

сырья. В ходе исследований установлено, что для достижения оптимального выхода красящих веществ при ультразвуковой обработке корней лапчатки размер частиц должен составлять 1–2 мм.

Выход красящих веществ в рабочий раствор при УЗ экстрагировании в значительной степени зависит от параметров озвучивания (рисунок 5): для корневых частей растений рекомендуется мощность генератора устанавливать не более 70 Вт. Кавитационное воздействие с

максимальной мощностью вызывает деструкцию клеток растения и не способствует увеличению насыщенности раствора. Длительность обработки рекомендуется устанавливать 40–50 минут.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено:

- размер частиц одревесневшего растительного сырья оказывает существенное влияние на интенсивность

окраски рабочего раствора, при использовании корней лапчатки прямостоячей рекомендуется измельчать сырье до величины 1–3 мм;

– предварительная ультразвуковая обработка корней лапчатки приводит к образованию дополнительных капиллярных каналов и снижению адсорбционной прочности сырья, что интенсифицирует процесс экстракции, рабочий раствор имеет более насыщенный оттенок, обусловленный выходом дубильных веществ;

– рекомендуемыми технологическими режимами озвучивания корней лапчатки являются мощность генератора 70 Вт, время озвучивания 50 мин;

– полученные результаты исследований можно рекомендовать для подготовки подземных частей других видов растений для получения красильных растворов для окрашивания текстильных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Губанов, И.А. и др. [2003]. *Potentilla erecta (L.) Raeusch.* — *Лапчатка прямостоячая, или Калган*. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Москва: Товарищество науч. изд. КМК, Российская Федерация.

Зефилов, Н.С., Кулов, Н.Н. и др. [1995]. Химическая энциклопедия. *Москва: Большая российская энциклопедия*, Т 4., С. 493–494.

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].

Кузнецова, А.О. и Скобова, Н.В. [2022]. Экокрашение – современный подход к народным традициям, *Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*. Т 1, С. 318–321.

Поляков, Н.А., Калашникова Е.А. и Киракосян Р.Н. [2019]. Новые данные о содержании дубильных веществ в растениях рода *Potentilla L.* *East European Scientific Journal*. № 12 (52), P4-9, URL: <https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/04-08-Polyakov-N.A.-Kalashnikova-E.A.-Kirakosyan-R.N.-NOVYE-DANNYE-O-SODERZHANII-DUBILNYH-VESHESTV-V-RASTENIYAH-RODA-POTENTILLA-L.pdf> [дата обращения 10.01.2024].

Пономарев, В.Д. [1976]. *Экстрагирование лекарственного сырья*. Москва: Медицина, Российская Федерация.

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Воробьева А.С. [2023]. Исследование влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных структур для функциональной одежды. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 44, С. 49. DOI:10.24412/2079-7958-2023-1-49-58.

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Кузнецова, А.О. [2022]. Пути повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1 (42), С. 115. DOI:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124.

Сысой, И.П. [2019]. Продуктивность и устойчивость лекарственных растений природной флоры северной части Беларуси (на примере популяций модельных видов), *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук*, Минск, URL: https://vak.gov.by/sites/default/files/2019-01/Автореферат_Сысой_2.pdf [дата обращения 30.01.2024].

Тасымбекова, А.Н., Логинова, Л.В. и Нурмаханкызы, Н. [2018]. Крашение шерстяных материалов природными красителями, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5 (377), С. 120–124.

Ташмухамедов, Ф.Р., Кутжанова, А.Ж. и Кричевский, Г.Е. [2017]. Золь-гель технология в крашении хлопчатобумажных тканей медным комплексом хлорофилла, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 4 (370), С. 150–156.

Ясинская, Н.Н. и Скобова, Н.В. [2020]. Ультразвуковая кавитационная обработка дисперсных систем текстильных аппретов, *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, Т 50, № 4, С. 72–76. – DOI

10.46418/0021-3489_2020_50_04_13. – EDN FGBRXS.

Arora, J., Agarwal, P. and Gupta, G. (2017). Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts: Sustainable and Eco-Friendly Processes, *Green and Sustainable Chemistry*, № 7, pp. 35–47. doi: 10.4236/gsc.2017.71003.

Köhler, P., Bystry, A., & Łuczaj, Ł. (2023). Plants and Other Materials Used for Dyeing in the Present Territory of Poland, Belarus and Ukraine according to Rostafiński's Questionnaire from 1883. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12 (7), 1482, available at: <https://doi.org/10.3390/plants12071482> [accessed 23 February 2024].

Mijas, G., Josa, M., Cayuela, D. and Riba-Moliner M. (2022). Study of Dyeing Process of Hemp/Cotton Fabrics by Using Natural Dyes Obtained from *Rubia tinctorum* L. and *Calendula officinalis*. *Polymers*. 2022; 14 (21):4508, available at: <https://doi.org/10.3390/polym14214508> [accessed 26 January 2024].

ПОЕТ.КА – про естественность и красоту (2018). Fashion collection. URL: <https://collection.by/poet-ka-pro-estestvennost-i-krasotu/> [дата обращения 29.01.2024].

Salaudinn, Sk.M., Mia, R., Haque, M.A. and Shamim, A.M. (2021). Review on Extracton and Applicaton of Natural Dyes. *Textile & Leather Review*. 4(4). p. 218–233, available at: <https://doi.org/10.31881/TLR.2021.09> [accessed 17 January 2024].

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. IntechOpen*, Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90038> [accessed 15 January 2024].

Sayem, ANM., Ahmed, F., Saha, P. and Talukder, B.A. (2021). Review on Natural Dyes: Raw Materials, Extraction Process, and their Properties. *Advance Research in Textile Engineering*; Vol. 6, Iss. 1: 1062, available at: https://www.researchgate.net/publication/350870928_A_Review_on_Natural_Dyes_Raw_Materials_Extraction_Process_and_their_Properties [accessed 12 February 2024].

REFERENCES

Gubanov, I.A. et al. (2003). *Potentilla erecta (L.) Raeusch. – Lapchatka prjamostojachaja, ili Kalgan* [Potentilla erecta (L.) Raeusch. – Cinquefoil erecta, or Kalgan]. Illustrated guide to plants of Central Russia. Moscow: Scientific Partnership. ed. KMK, Russian Federation [in Russian].

Zefirov, N.S., Kulov, N.N. et al. (1995). Chemical Encyclopedia [Himicheskaja jenciklopedija]. *Moscow: Great Russian Encyclopedia*, T. 4, P. 493–494 [In Russian].

Karomatov, I.J. and Mavlonov, S.S. (2017). Medicinal plant – cinquefoil anseri, creeping [Lekarstvennoe rastenie – lapchatka gusinaja, polzuchaja], *Biologija i integrativnaja medicina = Biology and Integrative Medicine*, № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lekarstvennoe-rastenie-lapchatka-gusinaya-polzuchaya> (date of access: 02.23.2024) [In Russian].

Kuznetsova, A.O. and Skobova, N.V. (2022). Eco-dyeing – a modern approach to folk traditions [Jekokrashenie – sovremennyj podhod k narodnym tradicijam], *Materials of reports of the 55th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vol. 1, pp. 318–321 [In Russian].

Polyakov, N.A., Kalashnikova, E.A. and Kirakosyan R.N. (2019). New data on the content of tannins in plants of the genus *Potentilla* L. [Novye dannye o sodержanii dubil'nyh veshhestv v rastenijah roda *Potentilla* L.] *East European Scientific Journal*. No. 12 [52], P. 4–9, available at: <https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/04-08-Polyakov-N.A.-Kalashnikova-E.A.-Kirakosyan-R.N.-NOVYE-DANNYE-O-SODERZHANII-DUBILNYH-VESHESTV-V-RASTENIYAH-RODA-POTENTILLA-L.pdf> [accessed 10.01.2024] [In Russian].

Ponomarev, V.D. (1976). *Jekstragirovanie lekarstvennogo syr'ja* [Extraction of medicinal raw materials]. Moscow: Medicine, Russian Federation.

Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Vorobyova A.S. (2023). Study of the moisture-regulating properties of two-layer knitted structures for functional clothing [Issledovanie vlagoregulirujushih svojstv dvuh-slojnyh trikotaznyh struktur dlja funkcional'noj odezhdy]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, No. 44, P. 49. DOI:10.24412/2079-7958-2023-1-49-58 [In Russian].

Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Kuznetsova, A.O. (2022). Ways to increase the efficiency of dyeing cotton fabrics with natural dyes [Puti povysheniya jeffektivnosti krasheniya hlopchatobumazhnyh tkanej prirodnyimi krasiteljami,], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, № 1 (42), P. 115. DOI:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124 (In Russian).

Sysoy, I.P. (2019). Productivity and sustainability of medicinal plants of the natural flora of the northern part of Belarus (on the example of populations of model species) [Produktivnost' i ustojchivost' lekarstvennyh rastenij prirodnoj flory severnoj chasti Belarusi (na primere populjacij model'nyh vidov)], *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk = Abstract of the dissertation for the degree of candidate of biological sciences*, Minsk, available at: https://vak.gov.by/sites/default/files/2019-01/Автореферат_Сысой_2.pdf (accessed 30.01.2024) (In Russian).

Tasymbekova, A.N., Loginova, L.V. and Nurmakhankyzy, N. (2018). Dyeing of woolen materials with natural dyes [Krashenie sherstjanyh materialov prirodnyimi krasiteljami], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 5 (377), pp. 120–124 (In Russian).

Tashmukhamedov, F.R., Kutzhanova, A.Zh. and Krichevsky, G.E. (2017). Sol-gel technology in dyeing cotton fabrics with a copper chlorophyll complex [Zol'-gel' tehnologija v krashenii hlopchatobumazhnyh tkanej mednym kompleksom hlorofilla], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 4 (370), P. 150–156 (In Russian).

Yasinskaya, N.N. and Skobova, N.V. (2020). Ultrasonic cavitation treatment of dispersed systems of textile finishing agents [Ul'trazvukovaja kavitacionnaja obrabotka dispersnyh sistem tekstil'nyh appretov], *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Tehnologija legkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions Technology of light industry*, Vol. 50, № 4, P. 72–76. DOI: 10.46418/0021-3489_2020_50_04_13. – EDN FGBRXS (In Russian).

Arora, J., Agarwal, P. and Gupta, G. (2017). Rainbow of Natural Dyes on Textiles Using Plants Extracts: Sustainable and Eco-Friendly Processes, *Green and Sustainable Chemistry*, № 7, pp. 35–47. DOI: 10.4236/gsc.2017.71003.

Köhler, P., Bystry, A., & Łuczaj, Ł. (2023). Plants and Other Materials Used for Dyeing in the Present Territory of Poland, Belarus and Ukraine according to Rostafiński's Questionnaire from 1883. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12 (7), 1482. <https://doi.org/10.3390/plants12071482>.

Mijas, G., Josa, M., Cayuela, D. and Riba-Moliner M. (2022). Study of Dyeing Process of Hemp/Cotton Fabrics by Using Natural Dyes Obtained from *Rubia tinctorum* L. and *Calendula officinalis*. *Polymers*. 2022; 14 (21): 4508, available at: <https://doi.org/10.3390/polym14214508> (accessed 26 January 2024).

POETKA – about naturalness and beauty (2018). Fashion collection, available at: <https://fcollection.by/poet-ka-pro-estestvennost-i-krasotu/> (accessed 29.01.2024) (In Russian).

Salauddin, Sk.M., Mia, R., Haque, M.A., and Shamim, A.M. (2021). Review on Extractor and Applicaton of Natural Dyes. *Textile & Leather Review*. 4 (4). p. 218–233, available at: <https://doi.org/10.31881/TLR.2021.09> (accessed 17 January 2024).

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*. IntechOpen, Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90038> (accessed 15 January 2024).

Sayem, ANM., Ahmed, F., Saha, P. and Talukder, B.A. (2021). Review on Natural Dyes: Raw Materials, Extraction Process, and their Properties. *Advance Research in Textile Engineering*, Vol. 6, Iss. 1: 1062, available at: https://www.researchgate.net/publication/350870928_A_Review_on_Natural_Dyes_Raw_Materials_Extraction_Process_and_their_Properties (accessed 12 February 2024).

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

Ясинская Наталья Николаевна

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: yasinskayann@rambler.ru

Горохова Анастасия Вадимовна

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: gorohova2508@gmail.com

Natallia V. Skobova

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

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Natallia N. Yasinskaya

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

E-mail: yasinskayann@rambler.ru

Anastasia V. Gorohova

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: gorohova2508@gmail.com