

УДК 677.027.4

DOI: <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2025-2-69-79>**Интенсификация экстрагирования природного сырья при крашении шерстяной пряжи****Н. В. Скобова, А. В. Горохова,
Н. Н. Ясинская, Е. П. Попко****Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь**

Аннотация. Сельское хозяйство и пищевая промышленность при производстве основных продуктов образуют большое количество органических отходов, многие из которых содержат красящие пигменты и являются дешевым источником сырья в технологии натурального крашения текстильных материалов. Их рациональное использование решит проблему их утилизации.

Предложена технология крашения шерстяной пряжи выжимками черного винограда от виноделия, полученными из районированных сортов винограда Витебской области. Выжимки содержат мякоть, кожицу и семена винограда, использованы после процесса ферментации вина, в свежем виде. Известно, что на яркость окраски пряжи влияют не только температура и длительность этапа крашения, наличие протрав, но и технологические режимы процесса экстрагирования красителя из сырья, концентрации красящего вещества в рабочей ванне. Цель исследования являлось установление оптимального режима экстрагирования выжимок винограда для получения натурального красителя, определение закономерности изменения цвета окрашенной пряжи от концентрации сырья и pH среды.

Установлено, что высокая температура экстрагирования приводит к деградации фенольных пигментов и получить пряжу с более насыщенными цветами затруднительно. Кислая среда красильной ванны улучшает окрашиваемость пряжи. При увеличении pH до 6 отмечается ухудшение интенсивности окраски с переходом ее в желто-зеленую гамму, т. к. антоциановые пигменты виноградных выжимок претерпевают обратимые структурные преобразования при изменении pH. Образование комплексов антоцианов с катионами металла (при использовании протрав) влияет на окраску, одновалентный катион K⁺ даёт пурпурные комплексы

Результаты исследований могут быть рекомендованы для крашения шерстяной пряжи отходами пищевой промышленности при переработке ягод (черная смородина, арония черноплодная).

Ключевые слова: выжимки винограда, экстрагирование, спектrogramма, антоциановые пигменты.

Информация о статье: поступила 16 марта 2025 года.

Intensification of extraction of natural raw materials for wool yarn dyeing**Natallia V. Skobova, Anastasia V. Gorohova,
Natallia N. Yasinskaya, Alena P. Papko****Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus**

Abstract. Agriculture and food processing industry, during the basic production process, generate a large amount of organic waste, many of which contain coloring pigments and are a inexpensive source of raw materials for the technology of natural dyeing of textile materials. Their rational use will solve the problem of waste disposal.

A technology for dyeing wool yarn with black grape pomace from winemaking, extracted from zoned grape varieties of the Vitebsk region, is proposed. The pomace contains pulp, skin and seeds of grapes, used after the fermentation process of winemaking, in fresh form. It is known that the brightness of the yarn color is affected not only by the temperature and duration of the dyeing stage, the presence of mordants, but also by the technological modes of the process of extracting the dye from the raw material, the concentration of the dye in the working bath. The aim of the study was to determine the optimal mode of grape pomace extraction to obtain a natural dye, to define the pattern of color change in dyed yarn based on the concentration of raw materials and pH of the environment.

It was found that high extraction temperature leads to degradation of phenolic pigments and it is difficult to obtain yarn with more saturated colors. The acidic environment of the dye bath improves the dyeability of the yarn. With an increase

in pH to 6, a deterioration in the color intensity is noted with its transition to a yellow-green range, since anthocyanin pigments of grape pomace undergo reversible structural transformations with a change in pH. The formation of complexes of anthocyanins with metal cations (when using mordants) affects the color, the monovalent cation K⁺ produces purple complexes.

The research results can be recommended for application in dyeing wool yarn with food processing industry waste resulting from berry processing (black currant, chokeberry).

Keywords: grape pomace, extraction, spectrogram, anthocyanin pigments.

Article info: received March 16, 2025.

Введение

Натуральные красители издавна использовались для окрашивания текстильных материалов, для этого использовались различные части растений, деревьев, плодов. Их используют как в качестве красящих пигментов, так и в качестве проправы (Bhute, 2012; Salauddin, 2021; Samanta, Awwad, & Algarni, 2020; Sayem, 2021). Производство растительного сырья для получения натуральных красителей не должно конкурировать с выращиванием сельскохозяйственных культур для производства продуктов питания, т. к. это приводит к более высокой удельной стоимости килограмма растительно-го сырья и, соответственно, килограмма окрашенного материала (Singhee, 2021). Стоимость можно снизить за счёт использования побочных продуктов сельского хозяйства и пищевой промышленности, а также отходов лесного хозяйства. В этом отношении наиболее экологичными можно считать плоды деревьев/кустарников, так как каждый год выращивается новый урожай, который перерабатывается для получения ценных пищевых ресурсов, а несъедобные части плодов, такие как выжимки и жом, выбрасываются в качестве отходов. Агроотходы, такие как кожура, скорлупа, семена и т. д., являются богатыми источниками пигментов, и из них можно получить натуральные красители (Lin et. al., 2022; Mansour et. al., 2020; Singhee, 2021).

Пищевая промышленность производит большое количество жидких и твёрдых отходов, которые являются потенциальными загрязнителями и требуют утилизации. Эти отходы используются либо в качестве корма для животных, либо утилизируются или компостируются. Однако отходы от прессования ягод, винограда, дистилляции, очистки овощей и фруктов, содержащие красители, доступны практически бесплатно (Singhee, 2021).

Виноград, считается одной из крупнейших плодовых культур в мире. Виноград принадлежит к семейству Vitaceae и выращивается в основном в Средиземномо-

рье, Центральной Европе, Юго-Западной Азии, Северной и Южной Германии, а также в Восточном и Северном Иране. Известно около 5000–10000 сортов винограда, из которых только несколько имеют коммерческое значение (Singhee, 2021). Белорусские селекционеры также смогли получить достаточное количество сортов винограда, районированных под местные климатические условия, что позволяет использовать местный сырьевой ресурс («Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений» (2022)).

Основное направление использование винограда – в пищу и для виноделия.

В процессе виноделия образуются побочные продукты, виноградные выжимки, которые считаются основными промышленными отходами (рисунок 1). Они представляют собой твердый остаток, состоящий из кожуры, семян и остатков мякоти (Baaka et.al., 2015).

Растущее производство вина приводит к экологическим и экономическим проблемам, связанным с утилизацией виноградных выжимок. В связи с чем, многие исследования направлены на изучение потенциальных возможностей использования виноградных выжимок (Fonseca et.al., 2024). Одним из перспективных направлений применения выжимок является производства натуральных красителей с более низкой себестоимостью (Baaka et.al., 2018).

Цель исследования – установить оптимальный режим экстрагирования выжимок винограда для получения натурального красителя, определить закономерности изменения цвета окрашенной пряжи от концентрации сырья и pH среды.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований выбраны выжимки винограда сорта Агат Донской, созревающего на территории Витебской области в середине сентября (рисунок 2). Выжимки ферментированные, содержащие остатки кожуры, мякоти и косточек, взяты после выработки ви-

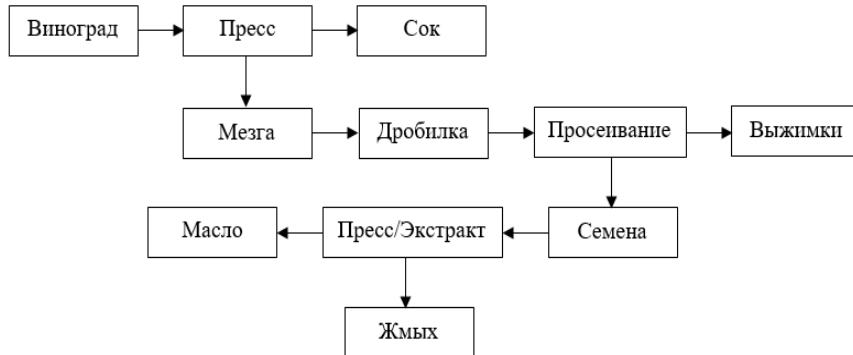


Рисунок 1 – Этапы переработки винограда и его отходов
Figure 1 – Stages of processing grapes and their waste



Рисунок 2 – Сорт винограда Агат Донской (слева), выжимки после виноделия (справа)
Figure 2 – Grape variety Agat Donskoy (left), pomace after winemaking process (right)

номатериала, использовались в свежем виде, без высушивания.

Виноградные выжимки потенциально являются богатым и относительно недорогим источником полифенолов, таких как фенольные кислоты, флавонолы, антоцианы, и дубильные вещества (процианидин, продельфинидин, глюкозилированный процианидин и галлатированный процианидин) [Pinga et.al., 2012; Singhee, 2021].

В ферментированных виноградных выжимках содержится большое количество антоцианов и танинов с высокой вариабельностью между наблюдаемыми побочными продуктами, что позволяет их использовать в качестве доступных источников биологически активных соединений в крашении [Yammie et.al., 2020].

Процессу крашения подвергали образцы отбеленной шерстяной пряжи по сокращенной технологии крашения, предложенной и описанной авторами статьи в работах [Скобова и др., 2024а, 2024б].

Экстрагирование красителя проводили методом экстракции растворителем (дистиллированная вода). Виноградные выжимки разделили на пробы с относительно равным распределением компонентов (семян – 15 %, кожицы и мякоти – 85 %). Пробы предварительно озвучивались в ультразвуковой ванне при мощности 60 Вт 20 мин, после чего закладывались в емкости, заливались водой. Концентрация выжимок в ванне составляла 100 г/л (модуль ванны 1:10). Пробы постепенно нагревали до заданной температуры и выдерживались определенное время (таблица 1). Затем раствор отфильтровывали.

Таблица 1 – Уровни варьирования входных факторов
Table 1 – Levels of variation of input factors

Факторы	Натуральные значения			Кодированные значения		
	ниж.	основ.	верх.	ниж.	основ.	верх.
Температура экстрагирования, °C (x_1)	60	80	100	-1	0	+1
Время экстрагирования, мин (x_2)	30	60	90	-1	0	+1

Крашение пряжи проводили при температуре 90 °C в течении 40 минут. Модуль ванны 1:50.

Проведены экспериментальные исследования по выбору оптимальных режимов экстрагирования виноградных выжимок, обеспечивающих максимальный выход красящего вещества в рабочий раствор.

Входными факторами выбраны температура и время экстрагирования (таблица 1). В качестве выходных параметров исследовали оптическую плотность раствора красильной ванны. Эксперимент проводили по матрице Коно с двумя повторностями в каждой серии опытов.

Выходными параметрами выбраны:

- оптическая плотность красильного раствора, полученного после экстрагирования, отражающая эффективность экстрагирования красильных групп;
- количество красителя, выбранного волокном, определяемого по формуле:

$$A = 100 \cdot \left(1 - \frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right), \quad (1)$$

где Δ_1 и Δ_2 – соответственно, оптическая плотность рабочего раствора до и после крашения.

Для оценки выхода красящих веществ в водный раствор применялся спектрофотометрический метод анализа полученных растворов с использованием спектрофотометра Solar 2201PB, режим поглощения на длине волн от 260 нм до 640 нм.

Для полноты результатов исследований проводили оценку насыщенности оттенков пряжи после крашения по методике, изложенной в работе [Пчелова и др., 2020]. Для этого использовался сканер и программа для обработки фотографических изображений. По полученным фотографиям определены усредненные условные цветовые координаты для каждого из окрашенных образцов (RGB). После чего рассчитывали индекс светлоты (X , %, от чисто белого):

$$X = \frac{R + G + B}{765} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Результаты исследований

Спектограммы полученных красильных растворов после экстракции представлены на рисунке 3. Водный экстракт виноградных выжимок характеризуется фиолетово-красным цветом. Из полученных графиков видно, что спектограммы имеют двухволевой характер, при 60 °C максимум поглощения наблюдается при длине волны 280 нм и связан с выходом в экстракт дубильных веществ (танины). С увеличением температуры (80 и 100 °C) отмечается появление экстремумов на длинах волны 350 нм и 370 нм, что может указывать на наличие в экстракте флавоноидов.

В результате обработки экспериментальных данных получены теоретико-экспериментальные зависимости оптической плотности красильного раствора от режимов экстрагирования:

$$D_{345} = 4,713 + 1,528 \cdot T - 1,532 \cdot T^2 \quad (R^2 = 0.995) \quad (3)$$

– выбираемость красителя из рабочей ванны от технологических режимов экстрагирования:

$$A = 2,28 - 0,282 \cdot t - 0,49 \cdot t \cdot T - 0,92 \cdot T^2 \quad (R^2 = 0.949) \quad (4)$$

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 ($Ft = 6,39$), при уровне значимости $p < 0,05$, что указывает на достоверность разработанных моделей.

По моделям (3) и (4) построены графические образы полученных зависимостей, по которым можно установить, что для получения наиболее насыщенных оттенков на пряже процесс экстрагирования целесообразно проводить в диапазоне температуры 75–90 °C и времени 30–60 минут.

Результаты окрашивания шерстяной пряжи при различных режимах экстрагирования представлены

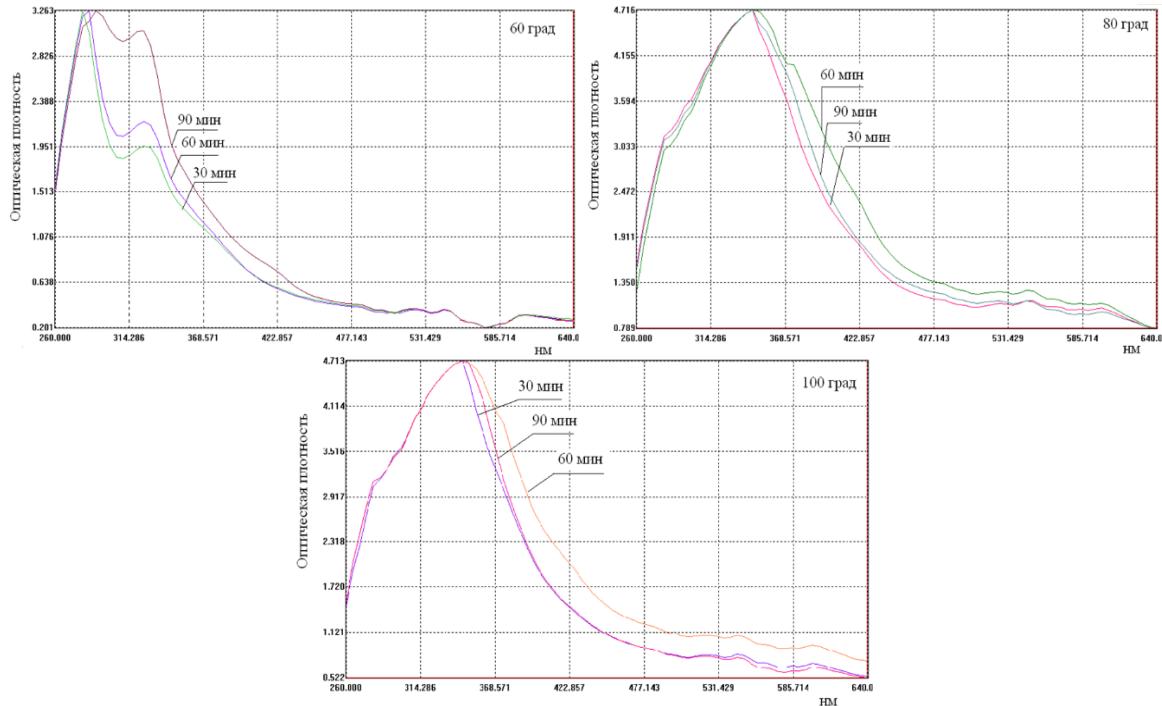


Рисунок 3 – Электронный спектр водных растворов виноградных выжимок после экстракции

Figure 3 – Spectrograms of aqueous solutions of grape pomace after extraction

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 (3)	141,389	1594,594	0,000000
Регрессия для модели (4)	28,10203	102,8123	0,000000

на рисунке 5.

По результатам определения цветовых характеристик окрашенных образцов в координатах RGB и расчету индекса светлоты (формула 2) установлено, что более глубокие и темные оттенки на пряже (таблица 3) получены при температуре экстракции 80–100 °C и продолжительности 30–60 минут.

На следующем этапе устанавливалась зависимость интенсивности окрашивания пряжи от концентрации и pH водных растворов выжимок винограда. Кислотность среды меняли путем введения протрав [NaHCO₃, алюмокалиевые квасцы KAl(SO₄)₂] на этапе совмещенного

способа крашения и проправления шерстяной пряжи (Скобова, 2024б).

Рассортировка сырья осуществлялась аналогично описанному выше. Подготавливали четыре ванны для экстрагирования с концентрацией выжимок 100 г/л, 200 г/л, 300 г/л, 400 г/л.

Этап экстрагирования проводили при $T = 80$ °C в течении 40 минут в ½ части требуемого объема воды. После чего доливали оставшуюся ½ часть воды для снижения температуры рабочей ванны, вводили образец пряжи и проправу [NaHCO₃ и алюмокалиевые квасцы]. pH экстракта выжимок до введения проправ состав-

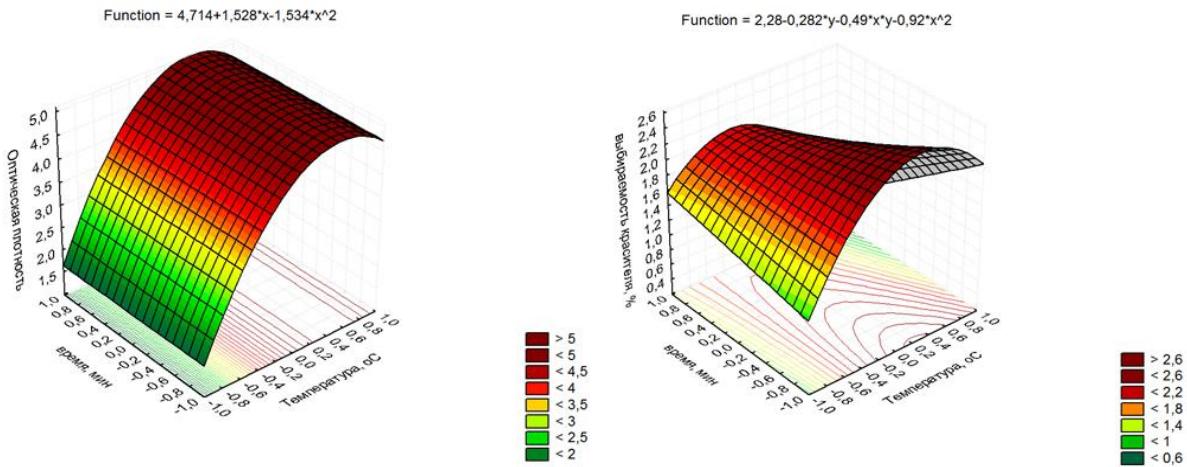


Рисунок 4 – Зависимость оптической плотности красильного раствора (слева) и процента выбираемости красителя (справа) от режимов экстрагирования

Figure 4 – Dependence of the optical density of the dye solution (left)
and the percentage of dye selectability (right) on the extraction modes



Рисунок 5 – Результат окрашивания шерстяной пряжи при разных режимах экстрагирования

Figure 5 – The result of dyeing wool yarn under different extraction conditions

лял 2,8. В одной из ванн создавали слабокислую среду [рН = 6] путем введения NaHCO_3 . Ванна с добавлением 2 % раствора алюмокалиевых квасцов имела рН до 4.

Этап крашения пряжи проводили при температуре 90 °C в течении 40 минут. Затем пряжу промывали в теплой и холодной воде, сушили.

Спектрограммы полученных красильных растворов после экстракции представлены на рисунке 6. В электронном спектре красильного раствора с концентрацией выжимок 200 г/л и более присутствуют интенсивные полосы поглощения (λ_{max} 335 нм, 370 нм и 405 нм), что указывает на выход флавоноидов. На образцах с концентрацией 300 и 400 г/л есть полоса поглощения на длине 560 нм, это характерный пик для соединений антоцианов.

Результаты окрашивания шерстяной пряжи представлен на рисунке 7.

Таблица 3 – Результаты расчетов индекса светлоты
Table 3 – Results of calculations of the lightness index

Образцы	X	Образцы	X	Образцы	X
60°30'	59	80°30'	42	100°30'	43
60°60'	58	80°60'	41	100°60'	43
60°90'	60	80°90'	44	100°90'	45

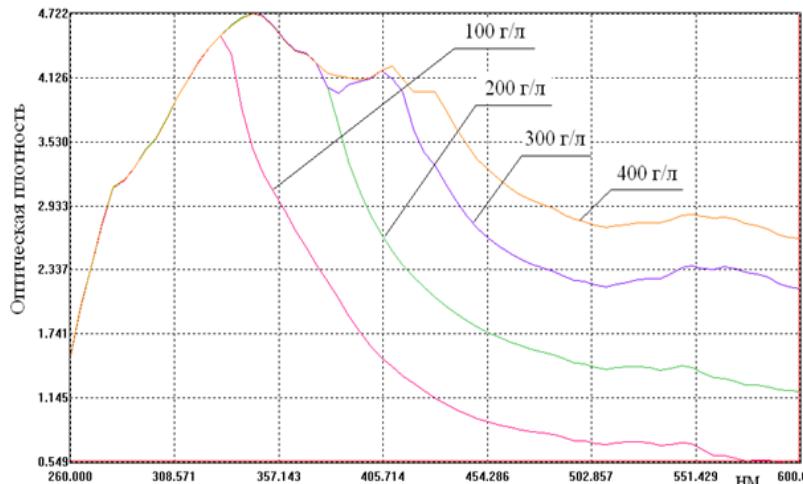


Рисунок 6 – Электронный спектр водных растворов выжимок винограда разной концентрации после экстракции
Figure 6 – Spectrogram of aqueous solutions of grape pomace of different concentrations after extraction



Рисунок 7 – Результат окрашивания шерстяной пряжи при разной концентрации виноградных выжимок в растворе
Figure 7 – The result of dyeing wool yarn with different concentrations of grape pomace in the solution

Следует отметить, что использование проправы NaHCO_3 позволяет получить желтовато-зеленый оттенок на пряже, отличный от образца без использования проправ, в свою очередь алюмокалиевые квасцы позволяют получить более пурпурный тон. Очевидно, что с ростом pH красильной ванны антоциановые пигменты (красный пигмент) обесцвечивается.

Оценка стойкости пряжи к мокрым обработкам показала 3,5–4 балла у образцов без проправ, 4–4,5 бала с применением алюмокалиевых квасцов.

Анализ полученных результатов

Выжимки богаты фенольными кислотами, флавоноидами, антоцианами и проантоксиандинами. В виноградных ягодах фенольные соединения находятся в основном в кожице и семенах. Флавонолы являются наиболее распространенными фенольными соединениями в кожице винограда, в то время как семена винограда богаты мономерными фенольными соединениями, такими как (+)-катехины, (-)-эпикатехин и (-)-эпикатехин-3-O-галлат, а также димерными, тримерными и тетрамерными проциандинами (Baaka et.al., 2015). Антоцианы принадлежат к большой и широко распространенной группе веществ, содержащихся в растениях, флавоноидам (или фенольным гликозидам). Увеличение концентрации растительного сырья до 300 г/л приводит к максимальному выходу антоцианов и дальнейшее увеличение концентрации не улучшает степень окрашивания.

емости образцов.

Температура является важным фактором в деградации фенольных пигментов. Большинство натуральных красителей неустойчивы к нагреванию и изменяются и теряют свои красящие свойства при повышенных температурах или длительном нагревании [Mansour, Ezzili & Mhenni, 2012].

Кислая среда красильной ванны [при использовании выжимок без протрав] улучшает окрашиваемость пряжи. При увеличении pH до 6 отмечается ухудшение интенсивности окраски с переходом ее в желто-зеленую гамму. Этот результат можно объяснить физико-химическим взаимодействием между красящими веществами, содержащимися в экстракте, и первичной структурой субстрата шерстяного волокна. Поскольку антоциановые пигменты виноградных выжимок претерпевают обратимые структурные преобразования при изменении pH. Окрашенная оксониевая форма преобладает при pH 1,0, а бесцветная полукетальная форма – при pH 4,5 [Mansour, Ezzili & Mhenni, 2012]. Кроме того, когда pH ниже 4,8, шерстяное волокно ведет себя как слабое основание и, следовательно, имеет большее сродство к ионным красителям. Большинство антоцианов в виноградной выжимке имеет сложную молекулярную структуру. Закрепление антоцианов на волокне возможно посредством различных видов межмолекулярных взаимодействий, в том числе ионного характера. Поскольку используемый краситель содержит группы ионогенные группировки, он будет взаимодействовать по ионному механизму с протонированными в кислой среде концеп-

выми аминогруппами полимерного субстрата шерстяных волокон.

Образование комплексов антоцианов с катионами металла влияет на окраску, одновалентный катион K⁺ даёт пурпурные комплексы [Marathe, 2021].

Выводы

В результате проведенных исследований установлено:

- при экстрагировании виноградных выжимок наиболее влияющим фактором на интенсивность окраски рабочего раствора красильной ванны является температура ванны при экстрагировании. Для увеличения интенсивности окраски пряжи рекомендуется этап экстрагирования проводить при температуре 80 °C в течение 40 мин;

- совместное влияние концентрации красильного раствора и pH среды определяет итоговый цвет пряжи;

- для окрашивания шерстяной пряжи выжимками винограда целесообразно выбирать концентрацию красильного раствора не более 300 г/л;

- повышение pH красильной ванны от 2,8 до 6 способствует обесцвечиванию антоциановых пигментов, применение экопротравы $KAl(SO_4)_2$ позволяет получать красновато-коричневые оттенки на пряже и повысить устойчивость пряжи к мокрым обработкам.

Результаты полученных исследований могут быть интересны людям творческих специальностей, дизайнерам, мелким ремесленникам при разработке ими эко-трендов в сфере моды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Baaka, Noureddine & Ben Ticha, Manel & Haddar, Wafa & Hammami, Saoussen & Mhenni, M.F. (2015). Extraction of Natural Dye from Waste Wine Industry: Optimization Survey Based on a Central Composite Design Method. *Fibers and Polymers*. 16. 38–45. doi:10.1007/s12221-015-0038-5.

Baaka, Noureddine & Ben Ticha, Manel & Haddar, Wafa & Amorim, M.T. & Mhenni, M.F. (2018). Upgrading of UV Protection Properties of Several Textile Fabrics by Their Dyeing with Grape Pomace Colorants. *Fibers and Polymers*. 19. 307–312. doi:10.1007/s12221-018-7327-0.

Bhute, Aniket [2012]. Plant based dyes and mordant: A Review. *Journal of Natural Products and Plant Resources*. 2(6): 649–664.

Fonseca, Filipa & Symochko, Lyudmyla & Pinheiro, Maria Nazaré (2024). Grape Pomace (*Vitis vinifera L.*) Waste Valorization: Assessing Its Potential as a Sustainable Natural Dye for Textiles Applications. *Sustainability*. 16. 3167. doi:10.3390/su16083167.

Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений: Справочное издание (2022). Минск: ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». С. 110, 129.

Jiang, Tiancheng & Xiao, Lexin & Pervez, Md. Nahid & Cai, Xiaobo & Naddeo, Vincenzo & Cai, Yingjie (2022). Sustainable fashion: eco-friendly dyeing of wool fiber with novel mixtures of biodegradable natural dyes. *Scientific Reports*. 12. doi:10.1038/s41598-022-25495-6.

Mansour Rym, Ezzili Bechirb and Mhenni Farouk (2012). Wine waste management: dyeing wool fabric with grape pomace. *International Journal of Current Research*. Vol. 4, Issue, 05, pp. 091–094. available at: <https://www.journalcra.com/sites/default/files/issue-pdf/2117.pdf> (accessed 6 March 2025).

Mansour, Rym & Dhouib, Soufien & Faouzi, Sakli (2020). UV Protection and Dyeing Properties of Wool Fabrics Dyed with Aqueous Extracts of Madder Roots, Chamomiles, Pomegranate Peels, and Apple Tree Branches Barks. *Journal of Natural Fibers*. 19. 1–11. doi:10.1080/15440478.2020.1758280.

Marathe, Sandesh & Shah, Nirali & Bajaj, Seema & Singhal, Rekha (2020). Esterification of anthocyanins isolated from floral waste: Characterization of the esters and their application in various food systems. *Food Bioscience*. 40. 100852. 10.1016/j.fbio.2020.100852.

Ping, Lan & Pizzi, A. Pizzi & Guo, Zhou & Brosse, Nicolas (2012). Condensed tannins from grape pomace: Characterization by FTIR and MALDI TOF and production of environment friendly wood adhesive. *Industrial Crops and Products*. 40. 13–20. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.02.039.

Пчелова, Н.В., Щербина, Л.А., Городнякова, И.С. и Будкуте, И.А. [2020]. Исследование влияния условий формования на накрашиваемость гель-волокон из сополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (39), С. 118. DOI:10.24411/2079-7958-2020-13912.

Salauddin, 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, K.A., Awwad, N. S. and Algarni, M.H., Eds. [2020]. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *IntechOpen*, Sep. 30, 2020. doi: 10.5772/intechopen.83199.

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 10 February 2025).

Singhee, Deepali [2021]. Review on Natural Dyes for Textiles from Wastes. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments, [Online]. *IntechOpen*, available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93178> [accessed: 10 March 2025].

Скобова, Н.В., Горохова, А.В., Ясинская, Н.Н. и Попко, Е.П. [2024]. Энергосберегающая технология крашения текстильных материалов из белковых волокон природными красителями с использованием натуральных протрав, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (48), С. 52–61. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-52-61.

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*, № 1 (47), С. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92.

Yammine, S., Delsart, C., Vitrac, X., Mietton Peuchot, M. and Ghidossi, R. [2020]. Characterisation of polyphenols and antioxidant potential of red and white pomace by-product extracts using subcritical water extraction. *OENO One*, 54(2), p. 263–278. available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2346> (accessed 11 February 2025).

REFERENCES

Baaka, Noureddine & Ben Ticha, Manel & Haddar, Wafa & Hammami, Saoussen & Mhenni, M.F. [2015]. Extraction of Natural Dye from Waste Wine Industry: Optimization Survey Based on a Central Composite Design Method. *Fibers and Polymers*. 16. 38–45. doi:10.1007/s12221-015-0038-5.

Baaka, Noureddine & Ben Ticha, Manel & Haddar, Wafa & Amorim, M.T. & Mhenni, M.F. [2018]. Upgrading of UV Protection Properties of Several Textile Fabrics by Their Dyeing with Grape Pomace Colorants. *Fibers and Polymers*. 19. 307–312.

doi:10.1007/s12221-018-7327-0.

Bhute, Aniket (2012). Plant based dyes and mordant: A Review. *Journal of Natural Products and Plant Resources*. 2(6): 649–664.

Fonseca, Filipa & Symochko, Lyudmyla & Pinheiro and Maria Nazaré (2024). Grape Pomace (*Vitis vinifera L.*) Waste Valorization: Assessing Its Potential as a Sustainable Natural Dye for Textiles Applications. *Sustainability*. 16. 3167. doi:10.3390/su16083167.

Gosudarstvennyj reestr sortov sel'skohozjajstvennyh rastenij: Spravochnoe izdanie [State Register of Agricultural Plant Varieties: Reference Publication] (2022). Minsk: State Inspectorate for Testing and Protection of Plant Varieties. P. 110, 129 (In Russian).

Jiang, Tiansheng & Xiao, Lexin & Pervez, Md. Nahid & Cai, Xiaobo & Naddeo, Vincenzo & Cai, Yingjie (2022). Sustainable fashion: eco-friendly dyeing of wool fiber with novel mixtures of biodegradable natural dyes. *Scientific Reports*. 12. doi:10.1038/s41598-022-25495-6.

Mansour Rym, Ezzili Bechirb and Mhenni Farouk (2012). Wine waste management: dyeing wool fabric with grape pomace. *International Journal of Current Research*. Vol. 4, Issue, 05, pp. 091–094. available at: <https://www.journalcra.com/sites/default/files/issue-pdf/2117.pdf> [accessed 6 March 2025].

Mansour, Rym & Dhouib, Soufien & Faouzi, Sakli (2020). UV Protection and Dyeing Properties of Wool Fabrics Dyed with Aqueous Extracts of Madder Roots, Chamomiles, Pomegranate Peels, and Apple Tree Branches Barks. *Journal of Natural Fibers*. 19. 1–11. doi:10.1080/15440478.2020.1758280.

Marathe, Sandesh & Shah, Nirali & Bajaj, Seema & Singhal, Rekha (2020). Esterification of anthocyanins isolated from floral waste: Characterization of the esters and their application in various food systems. *Food Bioscience*. 40. 100852. doi:10.1016/j.fbio.2020.100852.

Ping, Lan & Pizzi, A. Pizzi & Guo, Zhou & Brosse, Nicolas (2012). Condensed tannins from grape pomace: Characterization by FTIR and MALDI TOF and production of environment friendly wood adhesive. *Industrial Crops and Products*. 40. 13–20. doi:10.1016/j.indcrop.2012.02.039.

Pchelova, N.V., Shcherbina, L.A., Gorodnyakova, I.S. and Budkute, I.A. (2020). Study of the influence of molding conditions on the dyeability of gel fibers from copolymers of acrylonitrile, methyl acrylate and itaconic acid [Issledovanie vlijanija uslovij formovanija na nakrashivaemost' gel'-volokon iz sopolimerov akrilonitriila, metilakrilata i itakonovoj kisloty], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 2 (39), P. 118. DOI:10.24411/2079-7958-2020-13912 (In Russian).

Salauddin, 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, K.A., Awwad, N. S. and Algarni, M.H., Eds. (2020). Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *IntechOpen*, Sep. 30, 2020. doi: 10.5772/intechopen.83199.

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 10 February 2025].

Singhee, Deepali (2021). Review on Natural Dyes for Textiles from Wastes. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments, [Online]. *IntechOpen*, available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93178> [accessed: 10 March 2025].

Skobova, N.V., Gorokhova, A.V., Yasinskaya, N.N. and Popko, E.P. (2024). Energy-saving technology for dyeing textile materials from protein fibers with natural dyes using natural mordants [Jenergosberegajushaja tehnologija krashenija tekstil'nyh materialov iz belkovyh volokon prirodnymi krasiteljami s ispol'zovaniem natural'nyh protrov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 2 (48), P. 52–61. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-52-61 (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 technologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University, No. 1 [47], P. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92 [In Russian].

Yammine, S., Delsart, C., Vitrac, X., Mietton Peuchot, M. and Ghidossi, R. [2020]. Characterisation of polyphenols and antioxidant potential of red and white pomace by-product extracts using subcritical water extraction. *OENO One*, 54(2), p. 263–278. available at: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.2346> (accessed 11 February 2025).

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, заведующая 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 of the Department "Environmental Science 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 Science (in Engineering), Chair of the Department "Environmental Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: yasinskayann@rambler.ru

Alena P. Papko

Senior Lecturer of the Department "Environmental Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: popkoelenapavl@gmail.com