

Устойчивая технология крашения натурального шелка природными красителями в условиях зеленой трансформации текстильного производства

Н. С. Амирова,
Х. Р. Назирова

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан

Аннотация. Разработка инновационных и ресурсосберегающих технологий в процессах отделки текстильных материалов с ориентацией на использование локального сырья является одной из приоритетных задач современного промышленного развития. В этой связи замещение импортных дорогостоящих синтетических красителей природными аналогами, полученными из вторичных ресурсов, отходов пищевой промышленности и местной растительной флоры, представляется реальным и экономически целесообразным направлением. Особое значение при окрашивании натурального шелка природными красителями приобретает обеспечение экологичности технологического процесса. Это, в свою очередь, способствует производству высококачественной текстильной продукции, соответствующей современным экологическим требованиям и ориентированной на широкий ассортимент изделий, включая брендовую национальную, сувенирную и эксклюзивную продукцию, а также элементы интерьерного текстиля. В условиях отсутствия собственного производства синтетических красителей использование природных красителей, получаемых из богатой красильными растениями местной флоры и вторичных ресурсов, становится особенно актуальным и востребованным решением также с точки зрения охраны окружающей среды. В данной работе представлены результаты разработки способа окрашивания натурального шелка природным красителем на основе бузины черной. Изучено влияние протравных солей $[\text{CuSO}_4, \text{KAl}(\text{SO}_4)_2, \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{Ni}(\text{NO}_3)_2, \text{CoCl}_2, \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, \text{SnCl}_2]$ на качественные и колористические характеристики образцов натурального шелка. Целью исследования является научное обоснование экологически безопасной технологии производства текстильной продукции, обеспечивающей высокое качество, ресурсосбережение и снижение загрязнения сточных вод анилиновыми соединениями, характерными для синтетических красителей.

Ключевые слова: природные красители, зеленая трансформация текстильного производства, натуральный шелк, местные растения, бузина черная, сточные воды, социальный и экологический эффект, инновационные и ресурсосберегающие технологии.

Информация о статье: поступила 9 июня 2026 года.

Sustainable technology for natural silk dyeing using natural dyes in the context of the green transformation of textile production

Nodira S. Amirova,
Khilola R. Nazirova

Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Republic of Uzbekistan

Abstract. The development of innovative, resource-efficient technologies for textile finishing – with a focus on utilizing local raw materials – is a priority in modern industrial development. In this context, replacing expensive imported synthetic dyes with natural alternatives derived from secondary resources, food industry waste, and local flora represents a viable and economically sound approach. Ensuring the environmental sustainability of the technological process is of particular importance when dyeing natural silk with natural dyes. This, in turn, facilitates the production of high-quality textile goods that meet modern contemporary environmental standards and encompass a wide range of items, -including branded national products, souvenirs, exclusive goods, and interior textiles. Given the lack of domestic synthetic dye production, the use of natural dyes derived from local flora rich in pigment-yielding plants and from secondary resources is becoming an especially relevant and sought-after solution, particularly from an environmental protection perspective. This paper presents the results of developing a method for dyeing natural silk with a natural dye derived from black elderberry. The study investigated the effect of mordant salts $[\text{CuSO}_4, \text{KAl}(\text{SO}_4)_2, \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{Ni}(\text{NO}_3)_2, \text{CoCl}_2, \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, \text{SnCl}_2]$

on the quality and color characteristics of natural silk samples. The research aims to provide a scientific basis for an environmentally safe textile production technology that ensures high quality and resource conservation while reducing wastewater contamination by aniline compounds associated with synthetic dyes.

Keywords: natural dyes, green transformation of textile production, natural silk, local plants, black elderberry, wastewater, social and environmental impact, innovative and resource-saving technologies.

Article info: received June 9, 2026.

Введение

В условиях стремительных глобальных климатических изменений особую актуальность приобретает зеленая трансформация текстильной промышленности, направленная на разработку экологически безопасных технологий крашения натуральных волокон с использованием возобновляемых природных ресурсов.

В условиях отсутствия отечественного производства синтетических красителей одним из перспективных направлений является использование природных красителей, получаемых из местного растительного сырья и их отходов, что способствует не только расширению сырьевой базы текстильной промышленности, но и снижению экологической нагрузки за счет уменьшения использования синтетических красителей и токсичных химических реагентов.

Согласно историческим данным истоки использования природных красителей совпадают с возникновением человеческой цивилизации, в различных культурах. Наличие в составе красильных растений множества фитохимических компонентов таких как танины, антоцианы, флавоноиды и другие полифенольные соединения обуславливает им весьма широкий диапазон и яркость цветов [Абель А., 2021; Versha V., 2023; Курдюков Е.Е. et al., 2023]. В справочнике Color Index [CI, Англия] перечис-

лены 92 природных красителей, а открыто химическое строение 62 из них.

До 60–70-х годов XIX века во всех отраслях промышленности для окрашивания широко применялись красители природного происхождения, получаемые из растений, насекомых и отдельных видов животных. Они отличались исключительным разнообразием цветовых оттенков, высокой насыщенностью, глубиной и качеством окраски. Изделия, окрашенные натуральными красителями, обладали не только эстетической привлекательностью, но и рядом специфических свойств, включая лечебный эффект, обусловленный природным происхождением компонентов [Amirova N.S., 2022c; Исламова З.Ш., Амирова Н.С. and Набиева И.А., 2020; Гулраджани М.Л. et al, 1992].

Многие из этих красителей характеризовались высокой устойчивостью к воздействию солнечного света, при этом со временем их окраска могла становиться ещё более яркой, что обеспечивало длительный срок службы изделий. Наши предки владели уникальными знаниями и технологиями получения природных красителей, а также методами окрашивания различных материалов. При этом учитывались такие важные факторы, как место произрастания растений, время сбора сырья, условия его хранения и обработки, что в совокуп-

Таблица 1 – Колористические решения в подборе цвета

Table 1 – Color schemes and color selection

Цвета	Число красителей	В %
Желтый	28	30,4
Оранжевый	6	6,5
Красный	32	34,8
Голубой	3	3,3
Зеленый	5	5,5
Коричневый	12	13,0
Черный	6	6,5

ности позволяло получать устойчивые и качественные красители с дополнительными полезными свойствами [Гулраджани М.Л. et al, 1992].

Применение местных красильных растений позволяет сочетать богатые традиции национального текстильного искусства с современными требованиями устойчивого развития и «зеленой» экономики, что повышает узнаваемость отечественной продукции на международном рынке. Особую ценность приобретают изделия, в которых экологическая безопасность производственного процесса сочетается с национальными художественными мотивами.

Экологичная технология крашения натурального шелка, шерсти, целлюлозных волокнистых материалов природными красителями основана на принципах рационального использования сырья, снижения загрязняемости сточных вод, а также минимизации образования растительных отходов, производства экологичной натуральной текстильной продукции, а также улучшении производственных условий работников. Использование растительных экстрактов в качестве красителей способствует получению широкой гаммы устойчивых оттенков при сохранении высоких физико-механических и эксплуатационных свойств текстильной ткани [Исламова З.Ш., 2021].

Разработка и совершенствование экологически ориентированных технологий отделки текстильных материалов соответствует современным требованиям «зеленого» производства, циркулярной экономики и целям динамичного развития. Внедрение инновационных технологий способствует производству готовых эксклюзивных ассортиментов текстильной продукции, отвечающих высоким качественным требованиям и экологическим стандартам, мировому спросу на экологически чистую продукцию, а также расширению новых ассортиментов текстильной продукции и созданию современной национальной текстильной брендовой линейки, основанной на сочетании природного сырья, традиций и инноваций. Самое главное, они способствуют снижению отрицательного воздействия на окружающую среду [Amirova N.S., 2022a, 2022b].

Целью исследования является научное обоснование экологически безопасной технологии производства текстильной продукции, обеспечивающей высокое качество, ресурсосбережение и снижение загрязнения сточных вод анилиновыми соединениями, характерными для синтетических красителей.

Методы и средства исследований

В настоящей работе представлены результаты исследования процесса окрашивания крепового натурального шелка природным красителем на основе листьев и плодов бузины. Изучено влияние различных факторов, включая pH среды, концентрацию красителя и электролита, содержание солей тяжелых металлов (протрав), а также температуру и продолжительность крашения, валентность металла и природу аниона его соли на колористические характеристики. Применение отваров листьев и плодов бузины черной дает возможность расширить цветовую гамму окрасок, получаемых на натуральном шелке.

В качестве объекта исследования был выбран креповый натуральный шелк. Благодаря высокой гигиеничности, хорошей драпируемости и экологичности натурального шелка, окрашенного природными красителями, рекомендуется для использования при изготовлении эксклюзивной одежды, дизайнерских аксессуаров, предметов интерьерного текстиля, сувенирной продукции и изделий медицинского и оздоровительного назначения, предъявляющих повышенные требования к экологической чистоте материалов. Колористические характеристики готовых образцов определяли на спектроколориметре ROD NO 29 марки фирмы DaeLim (Ю. Корея) по методике [Abdukarimova M.Z. et al., 2015], спектрофотметре модели V-5100, вязкость красильной пасты определяли на рефрактометре Германской фирмы KRÜSS.

В качестве источника сырья для получения красильных веществ использованы листья и плоды бузины черной. Бузина черная – *Sambucus nigra* L – кустарник или небольшое дерево, плод черно-фиолетового цвета, растет быстро. Ареал *Sambucus nigra* охватывает большую часть Европы, Западную Азию и Северную Африку. Наиболее благоприятными условиями для ее произрастания являются умеренный климат, плодородные, достаточно увлажненные почвы, речные долины, лесные опушки, овраги и кустарниковые заросли. Благодаря высокой экологической пластичности растение успешно адаптировано и культивируется во многих странах мира как ценная лекарственная, пищевая и красильная культура.

В республиках Центральной Азии культивируется как декоративное растение, размножается семенами, черенками и отводками. Цветки бузины содержат гликозид самбунгирин, рутин, эфирное масло, органические кислоты. В плодах найдены дубильные вещества, органи-

ческие кислоты, самбунигрин. Ягоды бузины используют для окрашивания шелковых тканей в оливковый цвет, листья бузины дают хорошую окраску зеленого цвета [Ишунина Т.А. и Боева С.Г., 2017; Бурак Л.Ч., 2020].

В целях повышения прочности окраски и интенсивности цвета в красильные растворы экстракта листьев и плодов бузины черной были введены протравы – соли различных металлов. Концентрацию протравы первоначально в поисковых опытах сохранили как по традиционной технологии 7–14 % от массы шелка, приведенной в таблицах 2–3 [Amirova N.S. and Raxmonova S.R., 2024].

Результаты исследований

Была исследована красящая способность отваров листьев и плодов бузины черной в зависимости от природы используемой протравы. Красильный состав бузины черной (*Sambucus nigra*) основан на высоком содержании пигментов и фенольных соединений кверцетина, которые способны окрашивать материалы в темные оттенки. Флавоноиды – природные красители, пищевые антиоксиданты, дубильные вещества. Кверцетин – природный пигмент (флавоноид), который работает как эффективный желтый краситель для текстиля, а цветки черной бузины являются одним из источников этого вещества [Ferreira-Santos P. et al., 2021].

Методом качественной химической реакции при пробе Шинода определено присутствие различных флавоноидных групп в плодах и листьях бузины черной: флавонолы – красное окрашивание, флавоны – желтое окрашивание, флаваноны – фиолетовое окрашивание, изофлавоны – окрашивания не дают. Комплексообразо-

вание с основным ацетатом свинца: флавоны, флаваноны и производные с двумя –ОН группами в о-положении дают желтый осадок. Реакция на катехиновые агликоны: красное окрашивание с концентрированной HCl и ванилином [Godlewska K., Pasyga P. and Najda A., 2023; Митишев А.В. et al., 2023].

Анализ полученных результатов

Наличие в структуре белковых волокон макромокул аминных, карбоксильных и гидроксильных функциональных групп повышает их сорбционные свойства, что обеспечивает эффективное взаимодействие волокна с флавоноидами, антоцианами, дубильными веществами и другими полифенольными соединениями природных красителей.

Применение протрав приводит к повышению интенсивности окраски, равномерности окрашивания и устойчивости окраски к мокрым обработкам, трению и воздействию света. С целью образования устойчивых координационных комплексов между красителем, ионами металлов и функциональными группами белкового волокна исследовались оптимальные условия крашения (рН среды, температуры, продолжительности процесса и вида протравы).

Красящие вещества экстракта с металлами образуют комплексы, которые посредством металла фиксируются на волокне при помощи координационной связи, которая обеспечивает высокую прочность окраски к действию мокрых обработок и света. Образование комплекса (для металла с координационным числом 6) и фиксации флавоноидами на фиброин можно представить по следующей схеме (рисунок 1).

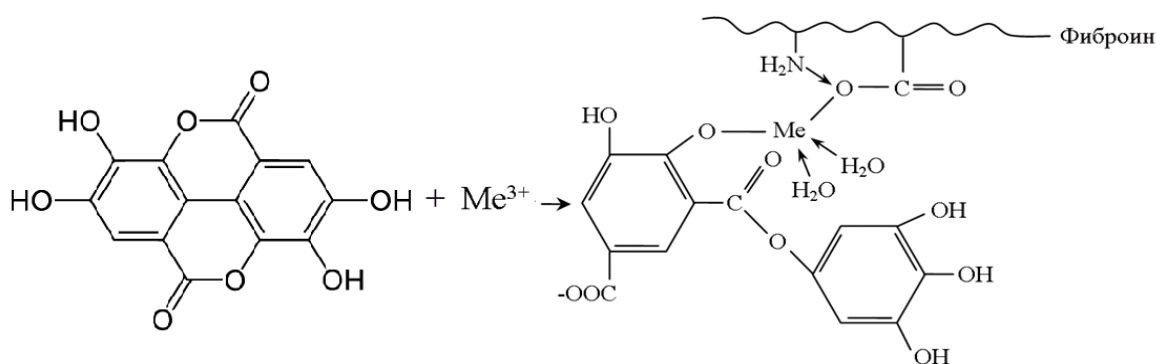


Рисунок 1 – Реакция образования комплекса между молекулой кверцетина, ионами трехвалентного металла (Me^{3+}) и фиброина шелка

Figure 1 – Reaction of complex formation between a quercetin molecule, trivalent metal ions and fibroin silk

Между ионами металла с гидроксильными и карбоксильными группами кверцетина, образуется устойчивый металлокомплекс, который также взаимодействует с функциональными группами фиброина. Такое комплексобразование способствует прочной фиксации природного красителя на шелковом волокне, повышая интенсивность окраски и ее устойчивость к различным видам внешних воздействий.

На рисунке 2 представлена зависимость характеристик окрашивания шелка в отваре листьев бузины от вида применяемого протравителя. Анализ результатов свидетельствует о том, что максимальная чистота окраски достигается при использовании бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) и сульфата меди ($CuSO_4$), где значения превышают 40–50 %. Применение сульфата железа ($Fe_2(SO_4)_3$) также обеспечивает достаточно высокую чистоту цвета, хотя она немного уступает указанным протравам. Остальные протравные соли ($Ni(NO_3)_2$, $CoCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, $KAl(SO_4)_2$) характеризуются средними значениями данного показателя – примерно в пределах 25–35 %. Наименьшая чистота цвета наблюдается при использовании хлорида олова ($SnCl_2$), несмотря на то, что в этом случае фиксируется относительно более высокая доля адсорбированного красителя.

Согласно результатам приведенным на рисунке 3, высокая чистота цвета достигается при использовании сульфата меди ($CuSO_4$) и бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$), что свидетельствует об их высокой эффективности в формировании интенсивной и насыщенной окраски. Достаточно высокие показатели также достигнуты в присутствии хлорида кобальта ($CoCl_2$) и сульфата железа ($Fe_2(SO_4)_3$).

В то же время применение алюмосодержащих протравных солей ($Al_2(SO_4)_3$, $KAl(SO_4)_2$) приводит к значительному снижению чистоты цвета, несмотря на относительно сопоставимые значения адсорбции красителя. Минимальные значения интенсивности окраски наблюдаются при использовании этих соединений, что указывает на их меньшую способность формировать устойчивые и яркие цветовые комплексы с природными пигментами бузины.

На основе поисковых опытов в целях достижения экологичности технологии для исследованных нами протрав удалось снизить их концентрации до 2,5–5,0 % от массы шелка.

Цвета, полученные при крашении в отваре листьев бузины коричневые, разных оттенков и светлоты для протрав (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Cu^{2+}), а для остальных светлые,

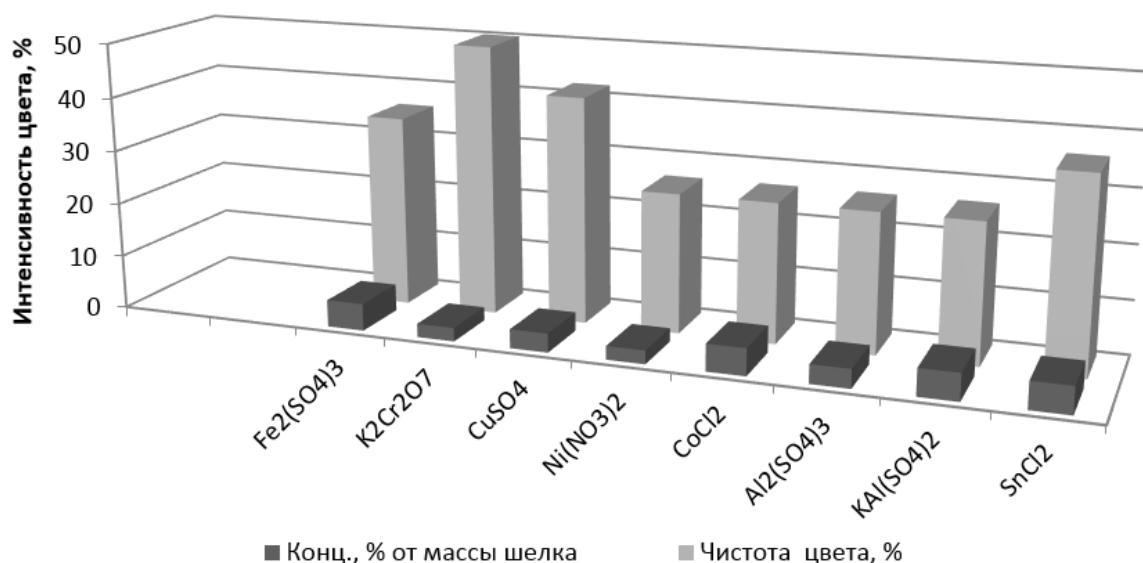


Рисунок 2 – Интенсивность цвета, полученного на шелке при крашении в отваре листьев бузины
Figure 2 – Characteristics of colors obtained on silk by dyeing in a decoction of elderberry leaves

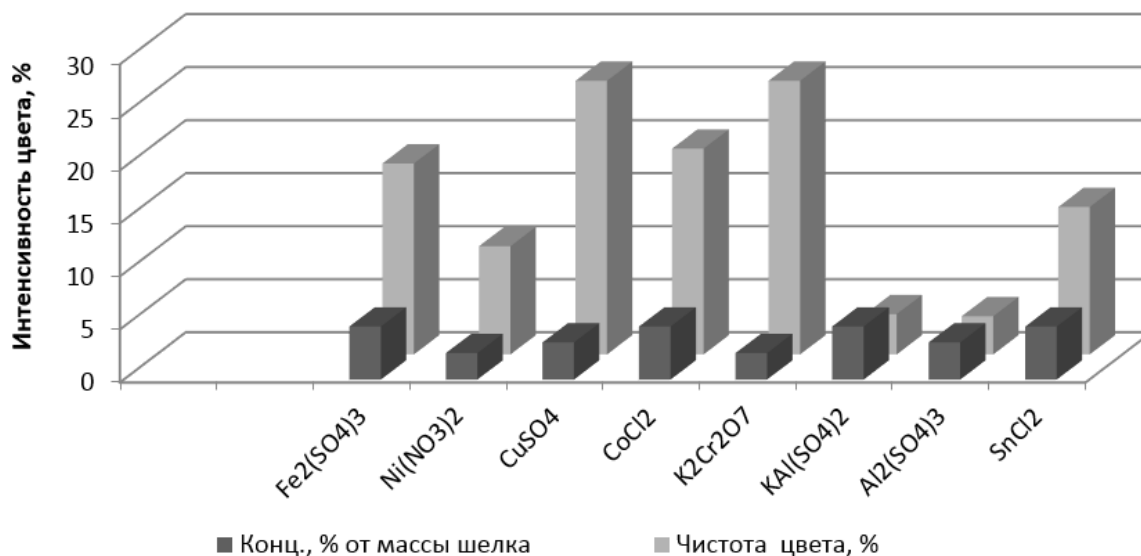


Рисунок 3 – Характеристика цветов, полученных на шелке при крашении в отваре плодов бузины
Figure 3 – Characteristics of colors obtained on silk by dyeing in a decoction of elderberries

постельные бежевые тона. На рисунке 4 представлена круговая диаграмма распределения интенсивности окраски (K/S) натурального шелка при использовании отвара листьев и плодов бузины.

Как видно из рисунка 4 а, наибольшее влияние на интенсивность окраски обеспечивает $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, формирующая коричневый оттенок. Второе место занимает $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, обеспечивающая темно-коричневый цвет. CuSO_4 дает умеренную интенсивность окраски с образованием орехового оттенка. Остальные протравы характеризуются значительно меньшими значениями K/S от 3,5 % до 6,3 %, формируя более светлые тона – бежевые, кремовые и светло-желтые.

В случае отвара плодов бузины (рисунок 4 б), наибольшую долю занимает протрава $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, обеспечивающая темно-зеленый оттенок. Сопоставимые значения наблюдаются для CuSO_4 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, формирующие соответственно оливковый и серовато-зеленый цвета. SnCl_2 также значительно занимает 12,0 %, обеспечивая фиолетовый оттенок. Остальные протравы характеризуются меньшей интенсивностью окраски: $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, CoCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, соответственно получая преимущественно синие, бежевые и фиолетовые тона.

Характеристики цветов (интенсивность цвета, прочность окраски и визуальные цветовые тона) приведены

в таблицах 2 и 3. Таким образом, при применении отвара листьев бузины черной в основном получается широкая палитра приятных, постельных и светлых тонов коричневого цвета, а в случае применения плодов черной бузины в качестве красителя позволяет значительно расширить цветовую гамму окрашивания натурального шелка.

Таким образом, диаграмма наглядно демонстрирует, что выбор протравы существенно влияет как на интенсивность, так и на цветовой тон окрашивания натурального шелка.

Необходимость применения процесса протравления с участием солей тяжелых металлов для закрепления и расширения окраски текстильных материалов компенсируется снижением их концентраций в 3–6 раз от традиционной технологии.

В целях сокращения количества солей металлов в сточных водах нами рекомендуется повторное использование протравного раствора, а также местный ионообменный способ очистки сточных вод. Для соответствия экологическим нормам в производствах, все выбросы не должны превышать установленные нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в сточных водах (Amirova N.S. et al., 2025).

На завершающем этапе исследования проведены физико-механические испытания образцов шелковых

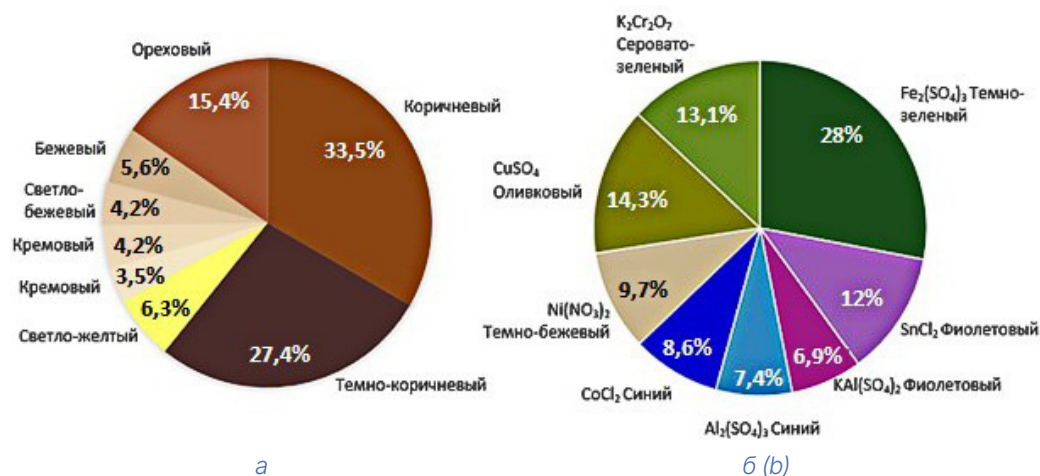


Рисунок 4 – Цветовой тон и окраски шелка, окрашенного в отваре бузины:

а – листья бузины; б – плоды бузины

Figure 4 – Color hue and coloration of silk dyed in an elderberry decoction:

а – elderberry leaves; б – elderberries

Таблица 2 – Колористические показатели образцов шелка, окрашенных в отваре листьев бузины

Table 2 – Color characteristics of silk samples dyed in an elderberry leaf decoction

Протравы	Концентрация, % от массы шелка	Интенсивность цвета, K/S	Цветовой тон	Прочность окраски к мокрым обработкам, в баллах	Прочность окраски к трению, в баллах	
					сухой	мокрый
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	5,0	7,8	Темно-коричневый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2,5	9,5	Коричневый	5/5/5	4/5	3/4
CuSO_4	3,5	4,4	Ореховый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	5,0	1,6	Бежевый	5/5/5	4/5	3/4
CoCl_2	2,5	1,2	Светло-бежевый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	5,0	1,2	Кремовый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	3,5	1,0	Кремовый	5/5/5	4/5	3/4
SnCl_2	5,0	1,8	Светло-желтый	5/5/5	4/5	3/4

тканей, окрашенных природным красителем на основе листьев и плодов бузины, с целью оценки влияния процесса крашения на их прочностные характеристики.

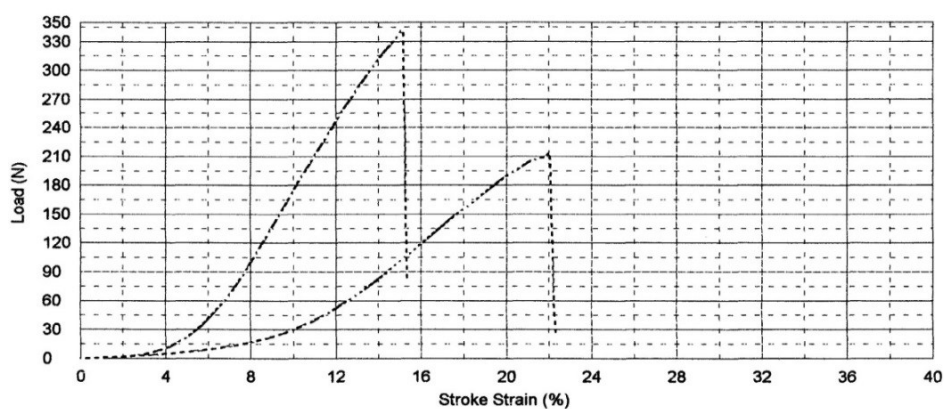
На рисунке 5 а, б представлены кривые зависимости разрывной нагрузки от относительного удлинения (Stroke-Strain) для исходных и окрашенных образцов шелковой ткани природными красителями на основе плодов бузины с последующим протравлением солью $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (5%-й концентрации).

Анализ полученных данных показывает, что после крашения отварами плодов бузины черной наблюдается увеличение максимальной разрывной нагрузки как по основе, так и по утку. Для окрашенных образцов характерны более высокие значения нагрузки при больших деформациях, что свидетельствует об упрочнении структуры шелкового материала. Кроме того, отмечается увеличение предельного удлинения до момента разрушения, что указывает на сохранение и даже некоторое

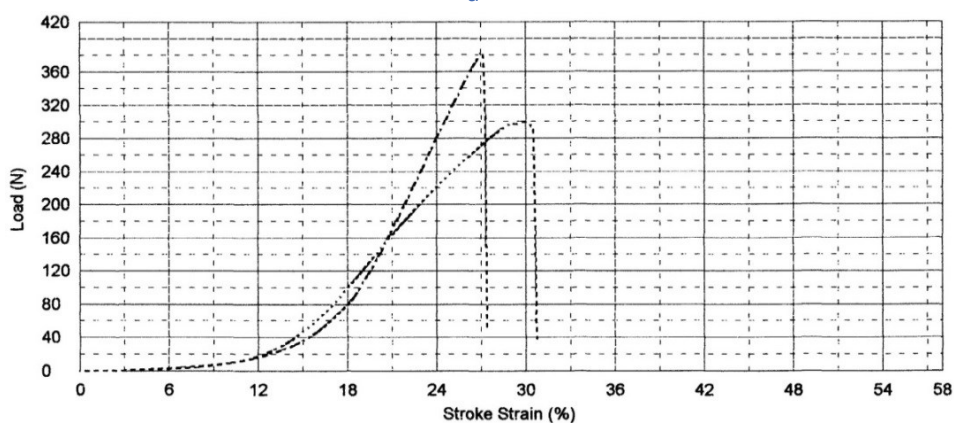
Таблица 3 – Колористические показатели образцов шелка, окрашенных в отваре плодов бузины

Table 3 – Color characteristics of silk samples dyed in an elderberry fruit decoction

Протравы	Концентрация, % от массы шелка	Интенсивность цвета, K/S	Цветовой тон	Прочность окраски к мокрым обработкам, в баллах	Прочность окраски к трению, в баллах	
					сухой	мокрый
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	5,0	4,9	Темно-зеленый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2,5	2,3	Серовато-зеленый	5/5/5	4/5	3/4
CuSO_4	3,5	2,5	Оливковый	5/5/5	4/5	3/4
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	5,0	1,7	Темно-бежевый	5/5/5	4/5	3/4
CoCl_2	2,5	1,5	Синий	5/5/5	4/5	3/4
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	5,0	1,3	Синий	5/5/5	4/5	3/4
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	3,5	1,2	Фиолетовый	5/5/5	4/5	3/4
SnCl_2	5,0	2,1	Фиолетовый	5/5/5	4/5	3/4



a



б (b)

Рисунок 5 – Кривые прочности на разрыв по утку и основе:

а – на исходных; б – окрашенных природными красителями образцов, измеренных на приборе Autograf AG-1

Figure 5 – Tensile strength curves in the weft and warp:

a – directions for untreated; b – natural-dye-treated samples, measured using an Autograf AG-1 instrument

повышение эластичности волокон после обработки природными красителями.

Установлено, что зафиксированное экспериментально упрочнение шелковой ткани носит комплексный характер и достигается за счет суммарного эффекта усадочных процессов (структурного уплотнения ткани и уменьшения расстояний между нитями) и, главным образом, химического модифицирования белковой макромолекулы шелка. Образование дополнительных межмолекулярных, водородных и прочных координационных связей с участием ионов железа (Fe^{3+}) и активных компонентов растительного экстракта бузины (полифенолов и органических кислот) приводит к сшиванию цепей фиброина. Увеличение количества таких связей эффективно препятствует взаимному проскальзыванию макромолекул при деформации, что непосредственно способствует повышению прочностных характеристик материала.

Аналогичная динамика наблюдается и для остальных образцов, окрашенных природными красителями на основе плодов и листьев бузины с последующей обработкой всеми исследуемыми протравными солями, представленными в таблицах 2 и 3.

Полученные результаты подтверждают, что применение натуральных красителей не оказывает негативного влияния на механические свойства шелковой ткани, а напротив, способствует повышению прочности материала на 7,85 % по утку и на 12,08 % по основе, что делает данный способ крашения перспективным как с экологической, так и с технологической точки зрения.

Выводы

На основе поисковых опытов для исследованных нами протрав удалось снизить их концентрации до 2,5–5,0 % от массы шелка. Цвета, полученные при крашении в отваре листьев бузины, коричневые, разных оттенков и светлоты для протрав (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Cu^{2+}), а для остальных – светлые и постельных бежевых тонов. Более интересные и насыщенные цвета образуются при крашении шелка в отваре плодов бузины – оливковые, зеленые, синие, фиолетовые тона в зависимости от природы протравы.

Показана возможность получения насыщенных и прочных окрасок на шелке с применением отваров листьев и плодов бузины черной. На основе исследования концентрации различных солей, применяемых в качестве протравы при крашении в отварах вышеуказанных растений, показана возможность снижения концентрации солей от традиционных 7–14 % от массы шелка до 1,5–5 % от массы шелка. При крашении шелковых тканей природными красителями установлено повышение прочностных характеристик на 7,85 и 12,08 % по утку и основе соответственно.

В результате внедрения предлагаемой технологии достигается социальный и экологический эффект за счет возможности реализации готовой продукции новых ассортиментов, обеспечивая дополнительную прибыль, а также создаются благоприятные условия для рабочих в производстве, снижается загрязнение сточных вод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Абель, А. (2021). История красителей и пигментов: от натуральных красителей до высокоэффективных пигментов. *Книга цветового дизайна*. С. 557–587.
- Бурак, Л.Ч. (2020). Использование сока бузины в производстве продуктов питания. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, № 3, С. 38–44.
- Гулрадхани, М.Л., Гупта, С., Гупта, Д., Мутрикар, Н.В., Рафаи, Т., Джейн, М. и Капила, Х. [1992]. *Натуральные красители и их применение к текстилю*. Дели: Индийский технологический институт, Республика Индия.
- Исламова, З.Ш., Амирова, Н.С. и Набиева, И.А. (2020). Возможность окрашивания шерсти природными красителями. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1, Естественные и технические науки*, № 2, С. 99–102.
- Исламова, З.Ш. (2021). Крашение маренной. *Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах*. Санкт-Петербург: СПбГУПТД, С. 42–43.

Ишунина, Т.А. и Боева, С.Г. (2017). Разработка технологии приготовления и применения гистологических красителей на основе экстрактов бузины черной, бархатцев распростертых и донника лекарственного. *Химия растительного сырья*, № 2, С. 167–169.

Курдюков, Е.Е., Финаёнова, Н.В., Неклюдова, В.А., Гаранина, Е.О. и Бодрова, Д.Д. (2023). Физико-химические свойства флавоноидов. *Международный научно-исследовательский журнал*, № 11 (137), С. 136–141.

Митишев, А.В., Курдюков, Е.Е., Семенова, Е.Ф., Феднина, А.С. и Евтушенко, А.И. (2023). Идентификация и количественное определение флавоноидов в биомассе хлореллы. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*, Т. 22, № 3, С. 193–199.

Abdulkarimova, M.Z., Nabieva, I.A. and Ismoilova, G.X. (2015). *To'qimachilik mahsulotlarini pardoqlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg'ulotlar uchun o'quv qo'llanma*. Toshkent: TTESI bosmaxonasi, O'zbekiston.

Amirova, N.S. (2022a). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022b). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022c). New eco-friendly paper assortments for coloring with natural dyes. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" Global Precision Ag Innovation*. Springer, vol. 2, pp. 2061–2074.

Amirova N.S. and Raxmonova S.R. (2024). Eco dyeing of cotton knitwear. *O'zbekiston To'qimachilik Jurnal*, № 2, pp. 117–124. ISSN 2010-6262.

Amirova, N.S., Shin, I.G., Mirzakhmedova, M.X. and Raxmonova, S.R. (2025). Mathematical planning of the process of dyeing knitted fabric with natural dyes. *Proceedings of the IV International Conference on Advances in Science, Engineering, and Digital Education*. AIP Conf. Proc. 3268, 030021-1-030021-8.

Ferreira-Santos, P., Badim, H., Salvador, A.C., Silvestre, A. J. D., Santos, S. A. O., Rocha, S.M., Sousa, A.M., Pereira, M.O., Wilson, C.P., Rocha, C.M., Teixeira and J.A., Botelho, C. (2021). Chemical characterization of Sambucus nigra L. flowers aqueous extract and its biological implications. *Biomolecules*, 11 (8), pp. 1222.

Godlewska, K., Pacyga, P., Najda, A. and Michalak, I. (2023). Investigation of chemical constituents and antioxidant activity of biologically active plant-derived natural products. *Molecules*, 28 (14), pp. 5572.

Versha, V. (2023). *Рынок натуральных красителей*. Kings Research, [Online], URL: <https://www.kingsresearch.com/ru/natural-dyes-market-1455> [Accessed: 05.02.26].

REFERENCES

Abel, A. (2021). History of dyes and pigments: from natural dyes to high-performance pigments [Istoriya krasitelej i pigmentov: ot natural'nyh krasitelej do vysokoeffektivnyh pigmentov]. *Kniga Cvetovogo dizajna = In: Color Design*, pp. 557–578 [In Russian].

Burak, L.Ch. (2020). Use of elderberry juice in food production [Ispol'zovanie soka buzyny v proizvodstve produktov pitaniya]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya = Technologies for the food and agro-processing industries – healthy food products*, no. 3, pp. 38–44 [In Russian].

Gulrajani, M.L., Gupta, S., Gupta, D., Mutrikar, N.V., Rafai, T., Jain, M., and Kapila, H. (1992). *Natural'nye krasiteli i ih primeneniye k tekstilyu* [Natural dyes and their application to textiles]. Delhi: Indian Institute of Technology, Republic of India [In Russian].

Islamova, Z.Sh., Amirova, N.S., and Nabieva, I.A. (2020). Possibility of dyeing wool with natural dyes [Vozmozhnost' okrashivaniya shersti prirodnymi krasitel'yami]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1, Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of Saint Petersburg State University of Technology and Design. Series 1, Natural and Technical Sciences*, no. 2, pp. 99–102 [In Russian].

Islamova, Z.Sh. [2021]. Dyeing with madder [Krashenie marenok]. *Innovatsionnye napravleniya razvitiya nauki o polimernykh voloknistykh i kompozitsionnykh materialakh = Innovative directions in the development of the science of polymer fibrous and composite materials*. St. Petersburg: SPbGUPTD, pp. 42–43. [In Russian].

Ishunina, T.A. and Boeva, S.G. [2017]. Development of a technology for the preparation and application of histological stains based on extracts of black elderberry, spreading marigold, and yellow sweet clover [Razrabotka tekhnologii prigotovleniya i primeneniya gistologicheskikh krasitelej na osnove ekstraktov buziny chernoj, barhatcev rasprostertyh i donnika lekarstvennogo]. *Khimiya rastitelnogo syrya = Chemistry of Plant Raw Material*, no. 2, pp. 167–169 [In Russian].

Kurdyukov, E.E., Finayonova, N.V., Neklyudova, V.A., Garanina, E.O. and Bodrova, D.D. [2023]. Physicochemical properties of flavonoids [Fiziko-himicheskie svoystva flavonoidov]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*, no. 11 (137), pp. 136–141 [In Russian].

Mitishev, A.V., Kurdyukov, E.E., Semenova, E.F., Fednina, A.S. and Evtushenko, A.I. [2023]. Identification and quantitative determination of flavonoids in "Chlorella" biomass [Identifikaciya i kolichestvennoe opredelenie flavonoidov v biomasse hlorelly]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii = Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*, vol. 22, no. 3, pp. 193–199. [In Russian].

Abdulkarimova, M.Z., Nabieva, I.A. and Ismoilova, G.X. [2015]. *To'qimachilik mahsulotlarini pardoqlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg'ulotlar uchun o'quv qo'llanma*. Toshkent: TTESI bosmaxonasi, O'zbekiston.

Amirova, N.S. [2022a]. The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. [2022b]. The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. [2022c]. New eco-friendly paper assortments for coloring with natural dyes. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" Global Precision Ag Innovation*. Springer, vol. 2, pp. 2061–2074.

Amirova N.S. and Raxmonova S.R. [2024]. Eco dyeing of cotton knitwear. *O'zbekiston To'qimachilik Jurnal*, no. 2, pp. 117–124. ISSN 2010-6262.

Amirova, N.S., Shin, I.G., Mirzakhmedova, M.X. and Raxmonova, S.R. [2025]. Mathematical planning of the process of dyeing knitted fabric with natural dyes. *Proceedings of the IV International Conference on Advances in Science, Engineering, and Digital Education*. AIP Conf. Proc. 3268, 030021-1–030021-8.

Ferreira-Santos, P., Badim, H., Salvador, A.C., Silvestre, A. J. D., Santos, S. A. O., Rocha, S.M., Sousa, A.M., Pereira, M.O., Wilson, C.P., Rocha, C.M., Teixeira, J.A. and Botelho, C. [2021]. Chemical characterization of Sambucus nigra L. flowers aqueous extract and its biological implications. *Biomolecules*, 11 (8), pp. 1222.

Godlewska, K., Pacyga, P., Najda, A. and Michalak, I. [2023]. Investigation of chemical constituents and antioxidant activity of biologically active plant-derived natural products. *Molecules*, 28 (14), pp. 5572.

Versha V. [2023]. *Natural colorants market* [Rynok natural'nyh krasitelej]. Kings Research, [Online], URL: <https://www.kingsresearch.com/ru/natural-dyes-market-1455> (Accessed: 05.02.26) [In Russian].

Информация об авторах

Information about the authors

Амирова Нодира Саликовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и экология», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: amirova.77@mail.ru

Назирова Хилола Рустамовна

Студент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: hilola1722@gmail.com

Nodira S. Amirova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Occupational Safety and Ecology", Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: amirova.77@mail.ru

Khilola R. Nazirova

Student, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: hilola1722@gmail.com