

ОКРАШИВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ХЛОПКА С УЧЕТОМ ИХ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

С.А. МАМАДЖАНОВА



(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 100100,
Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шохжахон, 5.)

Электронная почта автора- корреспондента: surayyoxon91@mail.ru

В данной работе представлены результаты комплексного исследования процессов окрашивания генетически модифицированных сортов хлопка — Порлок-1 (П-1), Порлок-2 (П-2) и Порлок-4 (П-4) — с учетом их морфологических и структурных особенностей. Особое внимание уделено сравнительному анализу нового районированного сорта С-6524, полученного с применением РНК-интерференционной технологии и гибридизации с различными реципиентными генотипами. Установлено, что химический состав волокон по основным компонентам (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) существенно не отличается, однако наблюдаются значимые различия по содержанию α-целлюлозы, степени полимеризации, прочности, длине штапеля и объемно-структурным характеристикам. Методы рентгенодифракционного анализа и сканирующей электронной микроскопии позволили выявить изменения в степени кристалличности, размерах кристаллитов и межплоскостных расстояниях, что напрямую влияет на сорбционные свойства волокон. Количество сорбированного и фиксированного красителя зависит от микро- и макроструктуры волокон, включая общий объем пор, число волокон в пряже, площадь пустот в поперечном сечении и степень ориентации макромолекул. Полученные результаты демонстрируют, что структурные особенности генетически модифицированных волокон способствуют повышению эффективности и качества процесса окрашивания, обеспечивая более равномерное распределение красителя, устойчивость к внешним воздействиям и улучшенные эстетические характеристики текстильных материалов. Работа открывает перспективы для дальнейшего совершенствования технологий окрашивания текстильных материалов.

Ключевые слова: генетически модифицированный хлопок, окрашивание, структурные свойства, α-целлюлоза, кристалличность, РНК-интерференция, сорбция, фиксация красителя.

ГЕНЕТИКАЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРІЛГЕН МАҚТА СОРТТАРЫН ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП БОЯУ

С.А. МАМАДЖАНОВА

(Ташкент текстиль және жеңіл өнеркәсіп институты, 100100, Өзбекстан Республикасы,
Ташкент қаласы, Шохжахон көшесі № 5)

Автор- корреспонденттің электрондық поштасы: surayyoxon91@mail.ru

Бұл зерттеуде генетикалық түрлендірілген мақта сорттарының — Порлок-1 (П-1), Порлок-2 (П-2) және Порлок-4 (П-4) — бояу процесі олардың морфологиялық және құрылымдық ерекшеліктерін ескере отырып жан-жақты қарастырылған. Ерекше назар РНК-интерференциялық технология және әртүрлі генотиптермен гибридтеу арқылы алынған жаңа аймақтық С-6524 сортына аударылды. Талиықтардың химиялық құрамы (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) айтарлықтай өзгермегенімен, α-целлюлоза мөлшері, полимерлену дәрежесі, беріктігі, штапель ұзындығы және көлемдік-құрылымдық параметрлер бойынша елеулі айырмашылықтар анықталды. Рентгендік дифракциялық талдау мен сканерлеуші электрондық микроскопия талиықтардың кристалдылық дәрежесі, кристаллит өлшемі және жазықаралық қашықтықтарындағы өзгерістерді көрсетті, бұл олардың сорбциялық қасиеттеріне тікелей әсер етеді. Бояғыштың сіңірілуі мен бекітілуі талиықтардың микро- және макроқұрылымына, соның ішінде жалпы кеуек көлеміне, иірімдегі талиық санына, көлденең қимадағы бос кеңістік ауданына және макромолекулалардың бағытталуына байланысты. Зерттеу нәтижелері генетикалық түрлендірілген талиықтардың құрылымдық ерекшеліктері бояу процесінің тиімділігі мен сапасын арттыратынын көрсетті. Бұл біркелкі бояу, сыртқы әсерлерге төзімділік және текстиль өнімдерінің эстетикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді. Жұмыс тоқыма бояу технологияларын одан әрі жетілдіру перспективаларын ашады.

Негізгі сөздер: генетикалық түрлендірілген мақта, бояу, құрылымдық қасиеттер, α-целлюлоза, кристалдылық, РНК-интерференция, сорбция, бояғышты бекіту.

DYEING OF GENETICALLY MODIFIED COTTON VARIETIES CONSIDERING THEIR STRUCTURAL CHARACTERISTICS

S.A. MAMADJANOVA

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
Tashkent City, Shokhzhakhon street No. 5)

Corresponding author email: surayyoxon91@mail.ru

This study presents the results of a comprehensive investigation into the dyeing processes of genetically modified cotton varieties—Porlok-1 (P-1), Porlok-2 (P-2), and Porlok-4 (P-4)—with consideration of their morphological and structural characteristics. Particular attention is given to the comparative analysis of the newly zoned variety C-6524, developed through RNA interference technology and hybridization with various recipient genotypes. It was found that the chemical composition of the fibers in terms of cellulose, hemicellulose, and lignin does not differ significantly; however, notable variations were observed in α -cellulose content, degree of polymerization, fiber strength, staple length, and volumetric-structural parameters. X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy revealed changes in crystallinity, crystallite size, and interplanar spacing, which directly affect the sorption properties of the fibers. The amount of absorbed and fixed dye depends on the micro- and macrostructure of the fibers, including total pore volume, number of fibers in the yarn, cross-sectional void area, and macromolecular orientation. The findings demonstrate that the structural features of genetically modified fibers enhance the efficiency and quality of the dyeing process, ensuring more uniform dye distribution, improved resistance to external factors, and better aesthetic properties of textile materials. The work opens up prospects for further improvement of textile dyeing technologies.

Keywords: genetically modified cotton, dyeing, structural properties, α -cellulose, crystallinity, RNA interference, sorption, dye fixation

Введение

Хлопковое волокно является одним из важнейших видов сырья в текстильной промышленности. Оно также представляет собой возобновляемый природный ресурс, благодаря чему хлопок широко культивируется во многих регионах мира. В данной работе рассматриваются классификация, рост и развитие волокна, а также урожайность и качество рассматриваются в соответствии с общими и специфическими агротехническими подходами [1].

Индексы STI, GMP и MP эффективно применяются для идентификации сортов хлопка, устойчивых к дефициту влаги, поскольку они позволяют отбирать генотипы, способные сохранять высокий уровень урожайности в условиях орошения и/или водного стресса. Индексы STI и MP дают возможность дифференцировать сорта по их потенциалу продуктивности как в условиях водного дефицита, так и вне его. Авторы не изучали влияние особенностей роста хлопка в условиях засухи на основные качественные показатели волокнистого сырья [2].

В [3] изучена роль ген – сигнального пути SL хлопка GhMAX2 в росте хлопчатника на высоту и формирование формы растения. Согласно приведенным результатам, GhMAX2 может выполнять важные функции в росте хлопка, формирование формы растения и удлинении

волокон. Это исследование, в основном, раскрывает функцию GhMAX2 в процессе передачи сигналов SL/KAR в хлопке и обеспечивает теоретическую основу для выращивания новых сортов хлопчатника в будущем.

Авторы отмечают, что различия между генотипами и технологическими подходами к производству волокна могут быть компенсированы в процессе переработки. Однако дефекты, связанные со степенью зрелости волокна невозможно предотвратить или минимизировать в процессе окрашивания и печати без предварительной информации о зрелости волокна. Данные, представленные в литературе по оценке качества волокна, свидетельствуют о том, что стремление удовлетворить потребности промышленности в более прочном и тонком хлопковом волокне тесно связано с его химической обработкой и свойствами текстильных материалов, полученных из него [4].

Степень кристалличности хлопковой целлюлозы в среднем составляет около 70 %. Функциональные гидроксильные группы (–OH) в кристаллической области находятся под воздействием водородных связей и межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса, что делает их химически неактивными. Это оказывает отрицательное влияние на протекание реакций в процессе химической обработки. Элементарные

звенья целлюлозы соединены между собой гликозидными связями, образованными между атомами С-1 и С-4 соседних глюкозных остатков. Каждое звено содержит три гидроксильные группы, расположенные в позициях С-2, С-3 и С-6. Гидроксильные группы, находящиеся на концах целлюлозного фрагмента целлюлозной молекулы, существенно различаются. На одном конце фрагмента гидроксильная группа при С-1 образует менее активную альдегидную структуру [5].

Целлюлоза как природный полимер рассматривается как материал с макроструктурой, состоящей из двухфазной аморфно-кристаллической системы. Аморфная часть целлюлозы характеризуется ориентацией функциональных групп, закрученностью макромолекулы и разветвлённостью структурных элементов в определённых участках между кристаллитами. Указанные дефекты имеют статистическую природу и обусловлены условиями биологического синтеза и роста хлопчатника.

В последние годы было проведено множество экспериментальных и теоретических исследований, направленных на изучение структурных характеристик упорядоченных кристаллических фаз целлюлозы. Для анализа аморфного состояния использовались порошковые образцы, приготовленные из измельчённой целлюлозы [6].

Целлюлоза, полученная из различных источников, отличается физическими свойствами, такими как молекулярная масса, соотношение кристаллических и аморфных участков. Пространственное расположение глюкозных цепей в элементарной ячейке определяет кристаллическое состояние целлюлозы. В данной работе рассматриваются переменные параметры, влияющие на свойства пряжи. Степень зрелости волокон оказывает влияние на их неоднородность. В исследовании приведены экспериментальные результаты, полученные с использованием диэлектрического сепаратора для сортировки волокон по степени зрелости. Механические и физические характеристики волокон классифицированы в зависимости от их зрелости [7–8].

Химическое взаимодействие красителя с волокнистым материалом обеспечивает прочность окраски, растворимость в воде, широкий спектр цветов и относительную технологическую простоту процесса. Одним из ключевых преимуществ является высокий спрос на активные красители для окрашивания текстильных

материалов, изготовленных из целлюлозных волокон [9].

Основными процессами, обеспечивающими фиксацию красителя, являются его диффузия и сорбция на поверхности волокна. Конечная цель окрашивания — это закрепление красителя в волокне, происходящее в результате межфазного массопереноса посредством сорбции. Это взаимодействие реализуется через переход ионов окрашенного красителя в твёрдую фазу волокна, их проникновение во внутреннюю структуру волокна и образование прочных связей различной природы [10, 11–13].

Форма красителя, которая была сорбирована, но не закреплена, требует интенсивной промывки окрашенных текстильных материалов. Это увеличивает продолжительность технологического процесса, повышает расход водных и энергетических ресурсов, а также усиливает загрязнение сточных вод красителями. В процессе эксплуатации наблюдается снижение стойкости окраски, что негативно влияет на потребительские свойства готовой текстильной продукции. С целью снижения загрязнения сточных вод и уменьшения водопотребления предложен ряд методов промывки и очистки отходов, образующихся при окрашивании текстильных материалов активными красителями [14–16].

Как указано в монографии [17], структурные особенности волокон сортов «Порлок» оказывают влияние на эффективность отделки текстильных материалов.

Настоящая статья посвящена изучению взаимосвязи между структурой генетически модифицированного хлопкового волокна и процессом его окрашивания, а также внедрению данных сортов в текстильную промышленность.

Материалы и методы исследований

В качестве объекта исследования были выбраны генетически модифицированные сорта хлопка: Порлок-1 (П-1), Порлок-2 (П-2) и Порлок-4 (П-4). Для сравнительного анализа использовался районированный сорт С-6524.

Параметры волокна — длина, тонкость, зрелость, прочность, цвет и степень загрязнённости — определялись с использованием современной системы USTER HVI-1000 в соответствии с американскими стандартами.

Содержание жировых веществ в волокне определялось методом экстракции. Связанные липидные компоненты извлекались с помощью устройства SOKSLET SOX406 с применением органических растворителей.

Сорбция водяного пара проводилась на высоковакуумных весах Мак-Веп. Оценка радиуса пор осуществлялась согласно методологии, описанной в источнике [18].

Микроскопические изображения получены с использованием сканирующего электронного микроскопа SEM ZEISS SIGMA.

Рентгенографический структурный анализ образцов проводился на рентгеновском дифрактометре DRON-3М.

Цветовые характеристики образцов определялись в научной лаборатории «Kor Uz Textile Technopark» с применением спектроколориметра X-Rite Ci7800.

Результаты и их обсуждение

В качестве экспериментального материала были выбраны волокна хлопка сортов «Порлок». Сорт Порлок-1 получен путём скрещивания линии Koker-312, модифицированной методом РНК-интерференции, с сортом АН-Боявут-2. Сорт Порлок-2 — результат скрещивания той же линии Koker-312 с сортом С-6524. Сорт Порлок-4 создан на основе скрещивания линии Koker-312 с сортом Наманган-77, с последующим многократным отбором перспективных линий. Анализ характеристик хлопкового волокна различных селекционных сортов представлен в таблице 1, где приведены ключевые показатели, отражающие качество волокна.

Таблица. Характеристики хлопкового волокна разного селекционного сорта

Показатели хлопкового волокна	П-1	П-2	П-4	С-6524
Зрелость, %	76,7	86,4	80,7	80,7
Верхняя средняя длина (UHML), мм	31,5	30,9	31,0	28,2
Индекс равномерности по длине, %	83,5	83,1	82,9	82,3
Удельная разрывная нагрузка, гс/текс	29,5	28,9	29,4	28,4
Удлинение при разрыве, %	7,4	6,3	6,5	6,8
Индекс коротких волокон, %	6,4	6,7	7,6	8,0
Содержание жира, %	0,65	0,67	0,59	0,69
Белизна, %	64,4	69,1	71,6	69,0
Зольность, %	0,35	0,30	0,06	0,49
Содержание α -целлюлозы, %	98,7	98,6	98,8	98,3
Степень желтизны	4,5	4,2	4,2	4,6
Степень полимеризации (СП)	3300	3300	3800	2900

Поверхностные и объёмные параметры сырья рассчитывались на основе данных изотерм сорбции водяного пара. Исследование этих характеристик показало, что новые сорта

хлопкового волокна обладают более высокими поверхностными и объёмными свойствами по сравнению с широко культивируемыми сортами табл. 2.

Таблица 2. Поверхностные и объёмные свойства хлопковых волокон различных селекционных сортов

Показатели качества	Сорт хлопкового волокна			
	П-1	П-2	П-4	С-6524
Емкость моно слоя X_m , г/г	0,0219	0,0118	0,0109	0,0105
Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /г	76,98	41,52	70,97	36,75
Суммарный объем пор W_0 , см ³ /г	0,072	0,058	0,077	0,048
Радиус капилляров R_k , Å	28,18	18,71	21,91	26,12
Степень кристалличности, %	84	86	85	84

Для более глубокого изучения структурных характеристик генетически модифицированных сортов хлопка «Порлок» был проведён рентгеноструктурный анализ исследуемых образцов. Степень кристалличности хлопковой целлюлозы составляет около 70 %. В кристаллических областях функциональные

гидроксильные группы (–ОН) либо отсутствуют, либо обладают низкой реакционной способностью. Этот фактор в значительной степени определяет особенности протекания диффузионных процессов при химической обработке текстильных материалов табл. 3.

Таблица 3. Межплоскостные расстояния и размеры кристаллитов различных селекционных сортов хлопковых волокон

Сорт х/в	Межплоскостные расстояния d (Å)					Размеры кристаллитов (Å)			
	$d_{(101)}$	$d_{(101)^{-}}$	$d_{(002)}$	$d_{(040)}$	λ	L3	L4	L5	L7
П-1	6,026	5,539	3,952	2,578	1,5418	80,163	80,286	115,803	83,317
П-2	6,026	5,539	3,892	2,571	1,5418	80,163	80,286	115,874	119,057
П-4	6,326	8,043	3,986	2,622	1,5418	20,025	26,624	115,763	83,182
С-6524	6,109	5,47	3,892	2,564	1,5418	80,146	80,306	135,187	83,363

В процессе раскрытия коробочки волокно, соприкасаясь с воздухом, высыхает и закручивается в S или Z направлениях вокруг своей оси. Результаты микроскопических

исследований образцов хлопкового волокна, проведенных с помощью сканирующего электронного микроскопа марки “SEM ZEISS SIGMA”, приведены на рисунке 1.

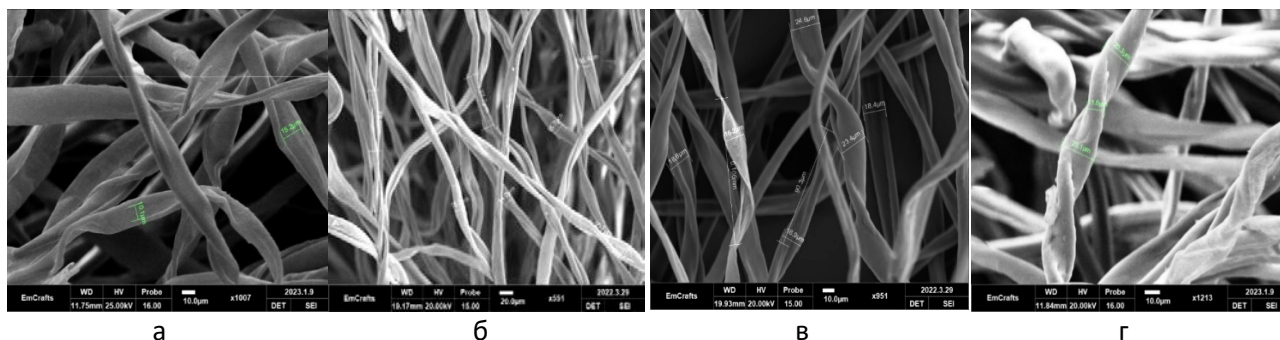


Рисунок 1. СЭМ фотографии образцов хлопковых волокон: а– П-1; б– П-2; в– П-4; г– С-6524

Анализ фотографии образцов хлопковых волокон, полученных с помощью СЭМ, также подтверждает отличия геометрических

показателей хлопковых волокон разного селекционного сорта таблица 4

Таблица 4. Средние геометрические показатели хлопковых волокон разного селекционного сорта

Сорт х/в	Ширина, мм	Длина извитка, мм	Толщина, мм
Порлок-1	0,0464	0,07135	0,005
Порлок-2	0,0179	0,0662	0,0002
Порлок-4	0,0328	0,0813	0,002
С-6524	0,0217	0,0835	0,0146

Проведены расчеты площади поперечных сечений исследуемых пряж, площадь занятых элементарными волокнами и пустоты пряж с разными структурно-объемными свойствами. Данные исследования необходимы для выявления влияния структурно-сорбционных свойств волокнистого сырья на количество фиксированного красителя.

Следует отметить, что пряжа из хлопкового волокна имеет характерную структуру. Сравнимые хлопковые пряжи: П-1, П-2, П-4 и С-6524.

Результаты микроскопических исследований образцов поперечного сечения пряжи, проведенных с помощью сканирующего электронного микроскопа марки “SEM ZEISS SIGMA”, приведены на рисунке 2.

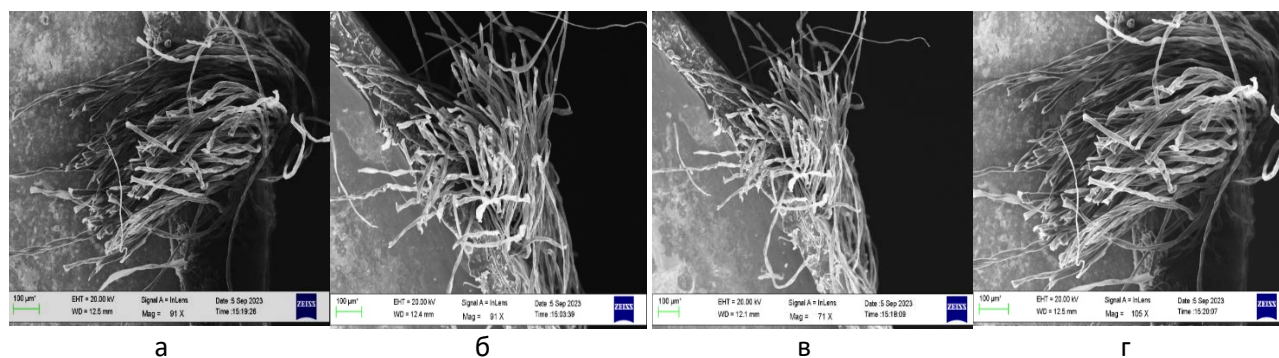


Рисунок 2. СЭМ фотографии поперечного сечения пряжи: а– П-1; б– П-2; в– П-4; г– С-6524

В результате проведённых экспериментов в таблице 5 представлены данные по структурно-объёмным и геометрическим характеристикам

хлопкового волокна селекционных сортов «Порлок» и пряжи, изготовленной на их основе, а также количественные показатели волокон.

Таблица 5. Структурно-объёмные, геометрические характеристики хлопкового волокна и количество волокон и пряжи селекционных сортов “Порлок”

№	Сорт хлопка	Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /г	Суммарный объем пор W_0 , см ³ /г	Радиус капилляров, R_k , Å	Диаметр волокна	
					микрометр μm	мм
1.	Порлок-1	76,98	0,072	28,18	12,8	0,0128
2.	Порлок-2	41,52	0,058	18,71	10,21	0,0102
3.	Порлок-4	70,97	0,077	21,91	8,88	0,0088
4.	С-6524	36,75	0,048	26,12	13,5	0,0135

На рисунке 3 и в таблице 6 представлены показатели площади поперечного сечения различных сортов хлопка, а также расчётные

значения количества сорбированного и фиксированного красителя.

Таблица 6. Значения показателей площади сечения по сортам хлопчатника

Сорт хлопчатника	Площадь поперечного сечения пряжи S_k , мм ²	Площадь поперечного сечения волокна S_T , мм ²	Площадь поперечного сечения пряжи, занятого волокном S_k^1 , м ²	Площадь пустот в поперечном сечении пряжи S_n , м ²	Относительная площадь пустот в поперечном сечении пряжи, δ , %
Порлок-1	0,01838	0,0000999	0,005794	0,012586	68,50
Порлок-2	0,015828	0,000081672	0,006370	0,009458	59,75
Порлок-4	0,015828	0,00006079	0,004437	0,011391	71,90
С-6524	0,01886	0,0001431	0,006438	0,01242	65,86

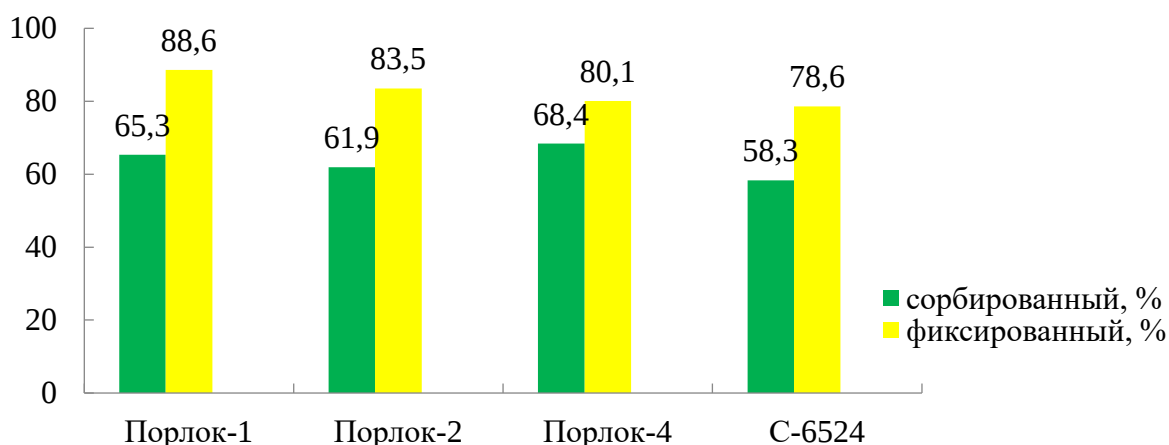


Рисунок 3. Количество сорбированного и фиксированного красителя в образцах хлопкового волокна различных сортов

На рисунке 3 представлены процентные значения сорбированного и фиксированного красителя в образцах хлопкового волокна различных сортов. Более высокая степень фиксации указывает на прочную химическую связь красителя с волокном, что способствует устойчивости окраски при эксплуатации.

Заключение

Проведён сравнительный анализ волокон генетически модифицированных сортов хлопка П-1, П-2 и П-4 с районированным сортом С-6524. Новые селекционные сорта «Порлок» отличаются от районированного сорта по ряду качественных показателей, связанных с их структурными характеристиками.

По результатам анализа сорбционных характеристик волокон, сорта П-1 и П-4 имеют удельную поверхность в 2 и 1,9 раза больше соответственно, а общий объем пор в 1,5, 1,2 и 1,6 раза больше, чем у хлопкового волокна сорта «С-6524». Структура волокна сорта П-2 по сравнению с другими образцами имеет меньшие размеры пор.

Выявлены различия между сортами «Порлок» и С-6524 по геометрическим характеристикам волокна. Новые сорта относятся к более высокому типу, характеризуются меньшим диаметром и большей длиной волокон.

По данным результатов анализа наименьшее значение площади поперечного сечения пряжи составило 0,015828 мм² у сортов

П-2 и П-4. Однако с учетом значения пустоты на поверхности поперечного сечения пряжи у сорта хлопка П-2 $S_b=59,75\%$, а у сорта хлопка П-4 – 71,9%.

Установлено, среди сравниваемых сортов хлопчатника самые тонкие волокна выявлены у сорта П-4 с диаметром волокна, равным 0,0088 мм. В случае, когда диаметр полученной из него пряжи составит 0,142 мм, количество волокон достигнет 73, а промежутки между волокнами – максимально суммарное значение, равное 0,077 см³/г. При этом радиус капилляров в волокне невелик и равен $21,91 \cdot 10^{-4}$ мм. Аналогичные показатели также остаются невысокими у других сортов хлопко-сырца.

Изучено влияние микро- и макроструктурных характеристик волокон различных селекционных сортов на количество сорбированного и фиксированного красителя. Установлено, что степень фиксации красителя зависит от общего объема пор в волокне, количества волокон в пряже и площади пустот в поперечном сечении пряжи.

Благодарность, конфликт интересов (финансирование)

Работа выполнена в Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang Yanjun, Dong Hezhong. Yield and Fiber Quality of Cotton // Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. – 2020. – Т. 2. – С. 356–364. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11166-X>

2. Quevedo Yeison M., Moreno Liz P. Predictive models of drought tolerance indices based on physiological, morphological and biochemical markers for the selection of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties // Journal of

Integrative Agriculture. – 2022. – № 21(5). – С. 1310–1320. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63596-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63596-1)

3. He Peng, Zhang Hui-zhi. The GhMAX2 gene regulates plant growth and fiber development in cotton // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2022. – № 21(6). – С. 1563–1575. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63603-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63603-1)

4. Худайбердиева Д.Б., Содикова Г.К., Мамаджанова С.А. Structural and performance properties of new Varieties of cotton fiber // *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*. – 2022. – Т. 12. – 3 март. DOI: 10.5958/2249-7315.2022.00122.8

5. Иоселович М. Я. Модели надмолекулярной структуры и свойства целлюлозы // *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. – 2016. – Т. 58. – № 6. – С. 604–624. <https://doi.org/10.1134/S0965545X16060109>

6. Якунин Н.А. Изменение надмолекулярной структуры хлопковых волокон при сорбции паров воды // *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. – 2003. – Т. 45. – № 5. – С. 767–772. <https://doi.org/10.1007/s10692-005-0038-0>

7. Saxena Inder M., Brown Malcolm R. Cellulose Biosynthesis: Current Views and Evolving Concepts // *Annals of Botany*. – 2005. – Т. 96(1). – С. 9–21. <https://doi.org/10.1093/aob/mci155>

8. Рахматуллинов Ф.Ф., Матисмаилов С.Л. и др. Рассортировка волокон по степени зрелости и ее влияние на показатели качества пряжи // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019. – № 6 (384). – С. 121–125. https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_23.pdf

9. Измайлов Б.И., Шарипов Р.М., Валеева Л.Д., Гадельшина Э.А., Вильданова А.И. Ассортимент применяемых красителей для текстильных материалов // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – № 15. – С. 180–182. <https://cyberleninka.ru/article/n/assortiment-primeniyaemyh-krasiteley-dlya-tekstilnyh-materialov>

10. Карпов В.В., Пачева Н.А. Активные красители сегодня // *Текстильная промышленность*. – 2002. – № 10. – С. 16–18.

11. Nikolaeva N.V. Analysis of the properties of active dyes // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Т. 677(5). – DOI:10.1088/1755-1315/677/5/052046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052046>

12. Arifuzzaman Khan G.M. Dyeing of Cotton Fabric with Reactive Dyes and Their Physico-Chemical Properties // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. – 2008. – январь. <https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/372>

13. Broadbent A.D. Basic Principle of Textile Coloration. – ASTM, 2001. – Т. 1. – С. 337. https://books.google.co.uz/books/about/Basic_Principles_of_Textile_Coloration.html?id=p0j8NAAACA&redir_esc=y

14. Burkinshaw S., Kabambe O. Attempts to reduce water and chemical usage in the removal of reactive dyes: Part 1 bis (aminochlorotriazine) dyes // *Dyes and*

Pigments. – 2009. – Т. 83. – № 3. – С. 363–374. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2009.06.003>

15. Cai Y., Su S., Navik R., Zhang P., Lin L. Reactive dyeing of ramie yarn washed by liquid ammonia // *Cellulose*. – 2018. – Т. 25. – С. 1463–1481. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1645-7>

16. Yin C., Zhang L.-P., Zhong Y., Mao Z.-P. Washing-off of unfixed reactive dyes on cotton fabrics using Fe-TAML/H₂O₂ catalyzed oxidation system // *Journal of Donghua University (English Edition)*. – 2015. https://www.researchgate.net/publication/305537098_Washing-off_of_unfixed_reactive_dyes_on_cotton_fabrics_using_Fe-TAMLH2O2_catalyzed_oxidation_system

17. Mamadjanova, S. A., Sodikova, G. K., Khudaiberdieva, D. B. (2025). The Effective Method for Preparing Textile Materials from “Porlok” Cotton Fiber Varieties. *J of Electron Sci and Electrical Res* 2(3), 01-10. <https://doi.org/10.63620/MKJESER.2025>

18. The Kubelka-Munk Theory and K/S. Applications note. – 2018. – Т. 18. – № 7. – С. 3–8. https://measurecolour.com.my/wp-content/uploads/2019/02/The-Kubelka-Munk-Theory-and-KS-an07_06.pdf

REFERENCES

1. Zhang, Yanjun, and Hezhong Dong. “Yield and Fiber Quality of Cotton.” *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* 2 (2020): 356–364. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11166-X>

2. Quevedo, Yeison M., and Liz P. Moreno. “Predictive Models of Drought Tolerance Indices Based on Physiological, Morphological and Biochemical Markers for the Selection of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Varieties.” *Journal of Integrative Agriculture* 21, no. 5 (2022): 1310–1320. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63596-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63596-1)

3. He, Peng, and Hui-zhi Zhang. “The GhMAX2 Gene Regulates Plant Growth and Fiber Development in Cotton.” *Journal of Integrative Agriculture* 21, no. 6 (2022): 1563–1575. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63603-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63603-1)

4. Khudaiberdieva, D.B., G.K. Sodikova, and S.A. Mamadzhanova. “Structural and Performance Properties of New Varieties of Cotton Fiber.” *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities* 12 (2022), March 3. DOI: 10.5958/2249-7315.2022.00122.8

5. Ioelovich, M.Ya. “Modeli nadmolekulyarnoi struktury i svoistva tsellyulozy” [Models of Supramolecular Structure and Properties of Cellulose]. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya. Seriya A* 58, no. 6 (2016): 604–624. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0965545X16060109>

6. Yakunin, N.A. “Izmenenie nadmolekulyarnoi struktury khlopkovykh volokon pri sorbsii parov vody” [Changes in Supramolecular Structure of Cotton Fibers During Water Vapor Sorption]. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya. Seriya A* 45, no. 5 (2003): 767–772. (In Russian) <https://doi.org/10.1007/s10692-005-0038-0>

7. Saxena, Inder M., and Malcolm R. Brown Jr. “Cellulose Biosynthesis: Current Views and Evolving

Concepts.” *Annals of Botany* 96, no. 1 (2005): 9–21.
<https://doi.org/10.1093/aob/mci155>

8. Rakhmatullinov, F.F., S.L. Matismailov, et al. “Rassortirovka volokon po stepeni zrelosti i ee vliyanie na pokazateli kachestva pryazhi” [Sorting of Fibers by Maturity and Its Influence on Yarn Quality Indicators]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* 6 (384) (2019): 121–125. (In Russian)
https://tpp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_23.pdf

9. Izmailov, B.I., R.M. Sharipov, L.D. Valeeva, E.A. Gadel'shina, and A.I. Vildanova. “Assortiment primenyaemykh krasitelei dlya tekstil'nykh materialov” [Assortment of Dyes Used for Textile Materials]. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta* 18, no. 15 (2015): 180–182. (In Russian)
<https://cyberleninka.ru/article/n/assortiment-primenyaemykh-krasiteley-dlya-tekstilnykh-materialov>

10. Karpov, V.V., and N.A. Pacheva. “Aktivnye krasiteli segodnya” [Reactive Dyes Today]. *Tekstil'naya Promyshlennost'* no. 10 (2002): 16–18. (In Russian)

11. Nikolaeva, N.V. “Analysis of the Properties of Active Dyes.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 677, no. 5 (2021): 052046.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052046>

12. Khan, G.M. Arifuzzaman. “Dyeing of Cotton Fabric with Reactive Dyes and Their Physico-Chemical Properties.” *Indian Journal of Fibre & Textile Research* (January 2008).
<https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/372>

13. Broadbent, A.D. *Basic Principle of Textile Coloration*. ASTM, 2001.

https://books.google.co.uz/books/about/Basic_Principles_of_Textile_Coloration.html?id=p0j8NAAACAAJ&redir_esc=y

14. Burkinshaw, S., and O. Kabambe. “Attempts to Reduce Water and Chemical Usage in the Removal of Reactive Dyes: Part 1 bis (Aminochlorotriazine) Dyes.” *Dyes and Pigments* 83, no. 3 (2009): 363–374.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2009.06.003>

15. Cai, Y., S. Su, R. Navik, P. Zhang, and L. Lin. “Reactive Dyeing of Ramie Yarn Washed by Liquid Ammonia.” *Cellulose* 25 (2018): 1463–1481.
<https://doi.org/10.1007/s10570-017-1645-7>

16. Yin, C., L.-P. Zhang, Y. Zhong, and Z.-P. Mao. “Washing-Off of Unfixed Reactive Dyes on Cotton Fabrics Using Fe-TAML/H₂O₂ Catalyzed Oxidation System.” *Journal of Donghua University (English Edition)* (2015).
https://www.researchgate.net/publication/305537098_Washing-off_of_unfixed_reactive_dyes_on_cotton_fabrics_using_Fe-TAMLH2O2_catalyzed_oxidation_system

17. Mamadjanova, S. A., Sodikova, G. K., Khudaiberdieva, D. B. (2025). The Effective Method for Preparing Textile Materials from “Porlok” Cotton Fiber Varieties. *J of Electron Sci and Electrical Res* 2(3), 01-10.
<https://doi.org/10.63620/MKJESER.2025>

18. “The Kubelka-Munk Theory and K/S.” *Applications Note* 18, no. 7 (2018): 3–8.
https://measurecolour.com.my/wp-content/uploads/2019/02/The-Kubelka-Munk-Theory-and-KS-an07_06.pdf