

МРНТИ 64.29.09

Э.Е. Сарыбаева¹ – основной автор, ©
Г.Т. Ораз², Б. Абзалбекулы³, М.Ш. Шардарбек⁴,
Р.Т. Кауымбаев⁵, Ф.Р. Ташмухамедов⁶, Ж.К. Боркулакова⁷



^{1,2}PhD, ст. преподаватель, ³PhD, ассоц. профессор,
⁴Канд. техн. наук, доцент, ⁵PhD, ⁶PhD, и.о. доцента, ⁷Докторант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-7579-5061> ²<https://orcid.org/0000-0002-7652-5319>
³<https://orcid.org/0000-0002-9552-0388> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-9787-5684>
⁵<https://orcid.org/0000-0002-6538-5947> ⁶<https://orcid.org/0000-0001-7579-5061>
⁷<https://orcid.org/0000-0001-5382-9064>



^{1,2,3,4,5,6,7}Таразский университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Казахстан



¹elvira-ermek@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/GMSL4181>

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ШЕРСТЯНЫХ ВОЛОКОН РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ И СОСТОЯНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ (СЭМ)

Аннотация. В данной работе методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изучена микроструктура шерстяных волокон разных типов (грубые, полугрубые, тонкие) и разного состояния (мытые, невымытые, окрашенные). На основе полученных изображений проведен сравнительный анализ морфологических особенностей волокон: чешуйчатая структура, пористость, наличие микротрещин и других дефектов. Установлено, что вид шерсти и способ обработки существенно влияют на состояние поверхности волокна и его физико-механические свойства. Исследованиями установлено, что тонкие волокна, такие как мериносовая шерсть, особенно подвержены повреждениям при крашении. Состав и структуру волокон можно точно определить с помощью количественных методов анализа на основе ГОСТ Р ИСО 17751-2016. Полученные данные могут помочь оптимизировать технологию обработки шерсти и повысить качество текстильных изделий.

Ключевые слова: микроструктура, сканирующая электронная микроскопия, тонкая шерсть, грубая шерсть, морфология волокон.



Сарыбаева, Э.Е. Микроструктурный анализ шерстяных волокон различных типов и состояний с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) [Текст] / Э.Е. Сарыбаева, Г.Т. Ораз, Б. Абзалбекулы, М.Ш. Шардарбек, Р.Т. Кауымбаев, Ф.Р. Ташмухамедов, Ж.К. Боркулакова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №2(88). – С.275-283. <https://doi.org/10.55956/GMSL4181>

Введение. Актуальность исследования. Шерсть – один из старейших и наиболее широко используемых текстильных материалов, из которого изготавливают одежду, ковры, ткани и другие изделия. В зависимости от вида животного и технологии обработки шерсть обладает различными физическими и химическими свойствами, которые напрямую влияют на качество конечного продукта. Самым важным свойством шерсти является ее

микроструктура, которая определяет такие параметры, как прочность, гибкость и теплоизоляционные свойства.

Микроскопическое исследование шерстяных волокон с использованием современных методов, таких как сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), позволяет изучать их внутреннюю структуру и выявлять дефекты и изменения, связанные с обработкой материала. Различные виды шерсти (грубая, полугрубая, тонкая) могут по-разному реагировать на внешние факторы, такие как стирка, крашение и химическая обработка, и должны анализироваться индивидуально.

Цель и задачи работы. Целью данной работы было проведение микроскопического анализа шерстяных волокон разных типов (грубая, полугрубая, тонкая) и состояний (мытая, невымытая, окрашенная) с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) для оценки влияния обработки на структуру волокна.

Цели исследования:

- сравнение и анализ микроstructures различных типов шерстяных волокон (грубых, полугрубых и тонких);
- оценка изменений микроstructures шерстяных волокон в различных условиях (мытье, невымытие, окрашивание);
- определение возможных дефектов или улучшений структуры шерсти после химической обработки;
- определение влияния обработки шерсти на текстурные свойства шерсти, такие как гладкость, прочность, пористость и т.д.

Обзор литературы. Структура шерстяных волокон. Шерсть состоит из белка, называемого кератином, который образует волокна, покрытые чешуйчатой внешней оболочкой. Эта чешуйчатая структура волокон придает шерсти эластичность, гибкость и изоляционные свойства. Внешний вид шерстяных волокон различается в зависимости от вида животного и толщины волокна.

Грубая шерсть (например, овечья шерсть) имеет более грубые волокна и заметную чешую на поверхности, что придает шерсти определенную твердость.

Полугрубая шерсть (например, смесь шерсти и козьей шерсти) имеет волокна средней толщины и менее заметные чешуйки.

Тонкая шерсть, например, меринос или альпака, состоит из более тонких, гладких волокон с менее выраженной структурой чешуек.

Влияние обработки шерсти. Чистка шерсти: процесс очистки шерсти удаляет грязь, жир и примеси. Однако чрезмерное использование моющих средств или чрезмерно высокая температура воды могут повредить структуру волокна, что приведет к потере эластичности и снижению прочности.

Окрашивание шерсти: в процессе окрашивания шерсть контактирует с химическими веществами, которые могут изменить ее микроstructure. Например, красители могут проникать в поры волокон и нарушать их структурную целостность, тем самым влияя на прочность и внешний вид материала.

Метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Сканирующая электронная микроскопия позволяет изучать поверхность образца с очень высоким разрешением, что дает возможность выявить мельчайшие дефекты и особенности структуры волокна, такие как микротрещины, пористость, повреждения, вызванные химической обработкой и т.д. В отличие от обычной

оптической микроскопии, СЭМ позволяет получать трехмерные изображения поверхности, что очень важно для изучения шерстяных волокон.

Условия и методы исследований. Образцы шерсти. Для анализа использовались различные типы образцов шерсти:

- грубая шерсть: например, овечья шерсть, используемая для изготовления ковров и грубых тканей;
- полугрубая шерсть: смесь овечьей и козьей шерсти, используемая для изготовления тканей средней прочности;
- тонкая шерсть: мериносковая шерсть известна своей мягкостью и тонкостью и используется для производства высококачественной ткани и одежды.

Образцы шерсти были разделены на отдельные волокна, из которых были удалены небольшие фрагменты для дальнейшего анализа.

Обработка шерсти. Промывка образцы шерсти при температуре 30-40°C с использованием мягкого моющего средства для удаления грязи и жира. Время обработки составляет 30 минут.

Окрашивание шерсти стандартными красителями для шерсти при температуре 60-70°C в течение 45-60 минут. В зависимости от условий производства используются натуральные и синтетические красители.

Технология сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Структура шерстяных волокон анализировалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 17751-2016 [1]. Настоящий стандарт устанавливает метод количественного анализа животных волокон, включая шерсть, с помощью микроскопа.

Подготовка образца. Шерстяные волокна очищаются от примесей и высушиваются при комнатной температуре. Образец покрывается тонким слоем золота (или другого проводящего материала) для улучшения проводимости и обеспечения высокого качества изображений.

Условия работы ЭМС. Сканирующий электронный микроскоп: тип СЭМ, рабочее напряжение 10-15 кВ. Микроскоп имеет разрешение 3-5 нанометров, что позволяет проводить детальный анализ микроструктуры шерстяных волокон. Увеличение – от 500х до 3000х для анализа в зависимости от потребностей исследования. Образцы исследовали при разных увеличениях для изучения общей морфологии волокон, а также более детальных признаков, таких как наличие пор, трещин и других дефектов.

Метод количественного анализа. Согласно ГОСТ Р ИСО 17751-2016 [1], состав образцов анализировали путем подсчета количества различных типов волокон (например, грубая шерсть, полугрубая шерсть, тонкая шерсть) в каждом образце.

Процесс выглядит следующим образом. Исследование проводилось на образцах шерсти, которые были подготовлены путем разделения волокон и распределения их на фиксированном квадрате (например, 1×1 см). Подсчитано количество волокон в каждом квадрате и их распределение по типу (грубая шерсть, полугрубая шерсть, тонкая шерсть). Для каждого волокна определяется его доля в общей выборке, что позволяет получить количественные данные о составе волокна. Этот метод не только помогает изучать морфологические характеристики волокон, но и позволяет точно определить процентное содержание различных видов шерсти, что имеет большое значение для текстильной промышленности [2].

Тонину шерстяных волокон (или их диаметр) можно определить с помощью СЭМ, что позволяет исследовать мельчайшие детали структуры материала. При анализе тонкой шерсти обычно учитываются следующие параметры:

- диаметр волокна является ключевым показателем для тонкой шерсти, такой как мериносовая, которая имеет гораздо меньший диаметр волокон, чем более грубая шерсть;
- структура чешуек – для тонких волокон чешуйки менее выражены и, следовательно, более гладкие.
- поверхность волокна – на предмет микротрещин, пор или других повреждений, которые могли возникнуть во время обработки (стирка, крашение).

Результаты исследований и их обсуждение. *Общая микроструктура волокон.* Грубая шерсть: Волокна имеют отчетливую структуру чешуек и твердую поверхность, что можно увидеть на снимках СЭМ. Наличие микротрещин и пор указывает на высокую пористость [3].

Полугрубая шерсть: структура чешуек менее выражена, а поверхность менее грубая, чем у грубой шерсти, но некоторые дефекты, такие как микротрещины и пористость, все еще видны [4].

Тонкая шерсть: волокна тонкие и гладкие, чешуйки почти не видны, поверхность волокон гладкая, пористых участков мало [5].

Эффекты обработки (стирка и крашение). Стирка шерсти делает ее более гладкой, что отражается в уменьшении видимости пор и трещин на поверхности волокон. Однако в некоторых случаях, особенно в полугрубой шерсти, все еще остаются следы загрязнений, которые невозможно удалить без дополнительной химической обработки [6].

Окрашивание шерсти приводит к более заметным изменениям в структуре волокон. Из-за воздействия красителей, особенно в тонкой шерсти, на поверхности волокон появляются микротрещины и повреждения, которые можно увидеть на снимках СЭМ. Некоторые части волокон стали более пористыми, что может указывать на разрушение их структуры [4].

На рисунке 1 представлена микроструктура грубой шерсти, полученная с помощью СЭМ при увеличении $\times 1000$. На снимках отчетливо видна чешуйчатая структура волокон, характерная для грубой шерсти, а также микротрещины на поверхности волокон, подтверждающие высокую пористость материала. На поверхности волокна видны чешуйчатые структуры и микротрещины.

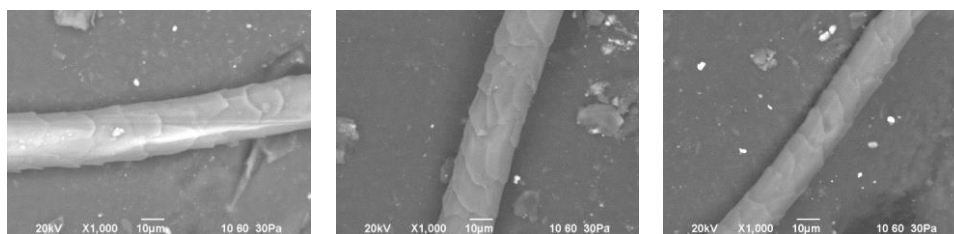


Рис. 1. Микроструктура грубой шерсти (увеличение $\times 1000$)

На рисунке 2 показана микроструктура окрашенной шерсти при увеличении в 2000 раз. В отличие от неокрашенной шерсти, на этой

фотографии показано повреждение волокна от воздействия красителя. Микротрещины и поры на поверхности волокна подтверждают, что процесс окрашивания оказывает разрушительное воздействие на шерсть.

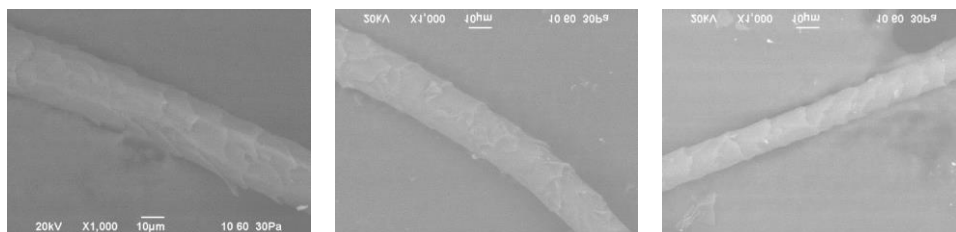


Рис. 2. Микроструктура крашеной шерсти (увеличение $\times 1000$)

Поверхность волокна повреждается красителем, появляются микротрещины и поры. Исследование показало, что на рисунке 3 показано, как меняется структура полугрубых волокон после стирки. По мере удаления грязи и жира поверхность волокна становится более гладкой. Однако некоторые следы загрязнения остаются, о чем свидетельствуют остаточные повреждения на изображении. Поверхность волокна становится более гладкой, но на поверхности все еще видны остатки грязи.

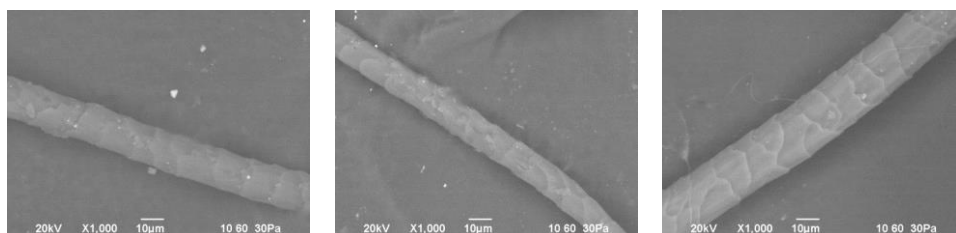


Рис. 3. Микроструктура полугрубых волокон после мытья (увеличение $\times 1000$)

Образцы мериносовой шерсти, известные своей тонкостью, использовались для анализа тонкости шерстяных волокон. На рисунке 4 показана микроструктура волокна мериносовой шерсти при 1000-кратном увеличении. Видно, что диаметр этих волокон значительно меньше, чем у грубой шерсти, такой как шерсть. Чешуйчатая структура едва заметна, а поверхность волокна гладкая и однородная, что характерно для тонкой шерсти.

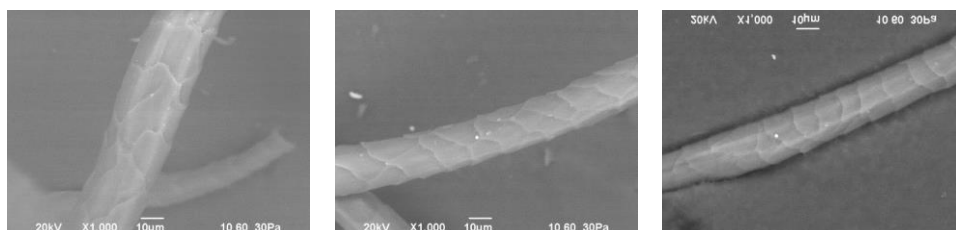


Рис. 4. Микроструктура тонкой шерсти мериноса, снятая с использованием СЭМ (увеличение $\times 3000$)

Видно уменьшение диаметра волокна и сглаживание поверхности. На рисунке 5 показано более детальное изображение той же шерсти, на котором видно, что тонкие волокна практически не имеют микротрещин и пор, что говорит о высоком качестве материала. Это также подтверждает, что тонкость волокна напрямую связана с его гладкостью и наличием дефектов, характерных для грубых шерстяных волокон.



Рис. 5. Микроструктура мериносовых волокон (увеличение $\times 1000$)

Изображение демонстрирует гладкую поверхность волокна и отсутствие пор. Для более детального анализа в отчет также включены данные по грубой и полугрубой шерсти, где структура чешуек более выражена, а диаметр волокон больше.

Для изучения толщины чешуек шерсти мы выбрали образцы шерсти мериноса, которая известна своим высоким качеством и тонкой структурой. На рисунке 6 показана микроструктура волокна при 1000-кратном увеличении, где отчетливо видно, что чешуйки на поверхности волокна практически не видны, что является типичной особенностью тонкой шерсти.

Измерения толщины чешуек показали, что их размер в среднем составляет 0,3-0,5 мкм, что значительно меньше, чем у грубой шерсти.

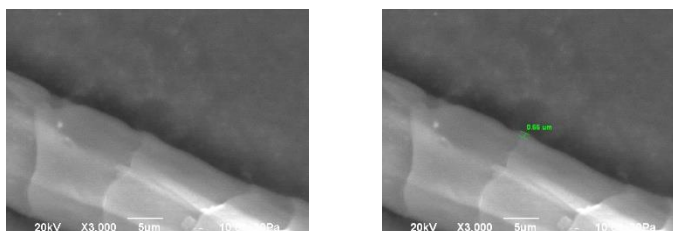


Рис. 6. Микроструктура тонкой шерсти мериноса (увеличение $\times 1000$)

На изображении видно, что чешуйки практически не выражены, их толщина составляет примерно 0,3-0,7 мкм.

Для более грубой шерсти, например, овечьей, чешуйки имеют более выраженную структуру и толщину. На рисунке 7 изображены чешуйки овечьей шерсти при увеличении $\times 1000$. Здесь чешуйки более толстые, их размер варьируется от 1 до 3 мкм.



Рис. 7. Микроструктура овечьей шерсти (увеличение $\times 1000$). Чешуйки более выражены и имеют толщину около 1-3 мкм

Заключение. В ходе исследований было установлено, что состояние шерсти (мытая, немытая и окрашенная) оказывает существенное влияние на ее микроструктуру. Анализ показал, что грубая шерсть менее подвержена изменениям, чем тонкая. Особо следует отметить, что окрашивание шерсти может повредить ее поверхность, о чем свидетельствует увеличение количества микротрещин и пор. Эти изменения могут существенно повлиять на механические и эстетические свойства шерсти [2].

Данный метод соответствует стандарту ГОСТ Р ИСО 17751-2016 [1] и позволяет точно количественно измерить содержание различных типов волокон в образце, что также подтверждает, что химическая обработка влияет на состав шерсти [7].

Сравнительный анализ толщины чешуек показал, что поверхность мериносовой шерсти намного глаже, чем грубой. Это также объясняет, почему изделия из мериносовой шерсти более мягкие и удобные в носке. При этом грубая шерсть имеет более выраженную структуру чешуек, более высокую прочность и лучшее сохранение тепла. в заключение

Результаты исследования показали, что методы СЭМ и количественного анализа в соответствии с ГОСТ Р ИСО 17751-2016 [1] позволяют эффективно изучать микроструктуру шерсти и оценивать влияние различных методов обработки (стирка, крашение) на ее свойства. Эти данные могут быть полезны для дальнейшего развития текстильной промышленности, так как высокая прочность и долговечность волокон очень важны для этой отрасли [8].

Испытания на тонины волокон показали, что волокна мериносовой шерсти тонкие и имеют очень мало поверхностных дефектов, что делает их превосходным материалом для производства высококачественных тканей и одежды. Эти результаты могут помочь улучшить производственные процессы в текстильной промышленности для создания новых нетканых материалов.

Измерение толщины чешуек шерсти с помощью СЭМ показало, что чешуйки тонкой шерсти были значительно меньше и менее четкими по сравнению с грубой шерстью. Это исследование может помочь в оценке качества шерсти и ее применения в текстильной промышленности.

Список литературы

1. GOST R ISO 17751–2016. Materialy tekstil'nye. Kolichestvennyj analiz volokon zhivotnogo proiskhozhdeniya metodom mikroskopii. Kashemir, sherсть, spetsial'nye volokna i ikh smesi [Textile materials. Quantitative analysis of animal fibers by microscopy. Cashmere, wool, specialty fibers and their blends]. – Introduced. 2016–01–01. – Moscow: Standartinform, 2016. [in Russian].
2. Barnes W., Taylor M. Electron Microscopy and the Characterization of Animal Fibers // Journal of Microscopy and Analysis. – 2010. – Vol. 23(3). – P. 1-15.

3. Giacomelli S., et al. Wool and Cashmere Fibers: A Comparative Study of Their Surface Morphology Using SEM // Textile Research Journal. – 2017. – Vol. 87. – P. 1045-1054.
4. Chadwick J., Ellis M. Scanning Electron Microscopy of Natural Fibers // Microscopy Today. – 2009. – Vol. 17. – No. 4. – P. 22-25.
5. Lemieux B., Berthod J. The Structural Properties of Wool Fibers and Their Influence on Textile Performance // Textile Research Journal. – 2015. – Vol. 85. – No. 1. – P. 48-56.
6. Yuan Z., et al. Microstructure of Wool and Its Relation to Mechanical Properties // Journal of Materials Science. – 2016. – Vol. 51. – P. 4847-4856.
7. Mishra S., Thomas S. Effect of Dyeing on the Morphology of Wool Fibers: A SEM Study // Journal of Applied Polymer Science. – 2012. – Vol. 125. – P. 45-56.
8. Rozman C., Tan C. A Study of the Physical and Chemical Properties of Wool after Various Treatments // Textile Research Journal. – 2018. – Vol. 90. – No. 5. – P. 47-59.

Исследования выполнены в рамках проекта BR 24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 21.05.25, принят 25.06.25.

**Э.Е. Сарыбаева¹, Г.Т. Ораз¹, Б. Абзалбекулы¹, М.Ш. Шардарбек¹,
Р.Т. Кауымбаев¹, Ф.Р. Ташмухамедов¹, Ж.К. Боркулакова¹**

¹*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

СКАНЕРЛЕЙТІН ЭЛЕКТРОНДЫ МИКРОСКОПИЯ (СЭМ) ӘДІСІМЕН ЖҮН ТАЛШЫҚТАРЫНЫҢ ӘР ТҮРЛІ ТҮРЛЕРІ МЕН КҮЙІНІҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТАЛДАУЫ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде жүн талшықтарының әртүрлі түрлерінің (дөрекі, жартылай дөрекі, жұқа) және әртүрлі күйдегі (жуылған, жуылмаған, боялған) микроқұрылымы сканерлейтін электронды микроскопия (СЭМ) әдісімен зерттелді. Алынған кескіндердің негізінде талшықтардың морфологиялық ерекшеліктері: қабыршақ құрылымы, кеуектілік, микрожарықтар мен басқа да ақаулар бойынша салыстырмалы талдау жүргізілді. Жүн түрі мен өңдеу әдісінің талшықтың беткі жағдайына және физикалық-механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Зерттеу нәтижесінде меринос сияқты жұқа жүн талшықтарының бояу кезінде зақымдануға аса бейім болатыны дәлелденді. ГОСТ Р ИСО 17751-2016 стандартына негізделген сандық талдау әдістері арқылы талшықтың құрамы мен құрылымын нақты анықтауға болады. Алынған мәліметтер жүн өңдеу технологиясын оңтайландыруға және тоқыма өнімдерінің сапасын арттыруға септігін тигізеді.

Тірек сөздер: микроқұрылым, сканерлейтін электронды микроскопия, жұқа жүн, дөрекі жүн, талшық морфологиясы.

E.E. Sarybaeva¹, G.T. Oraz¹, B. Abzalbekuly¹, M.Sh. Shardarbek¹,
R.T. Kauymbaev¹, F.R. Tashmukhamedov¹, Zh.K. Borkulakova¹

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF WOOL FIBERS OF DIFFERENT TYPES AND CONDITIONS USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)

Abstract. This study investigates the microstructure of wool fibers of various types (coarse, semi-coarse, fine) and different conditions (washed, unwashed, dyed) using scanning electron microscopy (SEM). Based on the obtained images, a comparative analysis of morphological features such as scale structure, porosity, microcracks, and other defects was conducted. It was found that the type of wool and the method of processing significantly affect the fiber surface condition and its physical and mechanical properties. The study revealed that fine fibers, such as merino wool, are particularly susceptible to damage during dyeing. The composition and structure of fibers can be precisely determined using quantitative analysis methods in accordance with GOST R ISO 17751-2016. The findings can contribute to optimizing wool processing technology and improving the quality of textile products.

Keywords: microstructure, scanning electron microscopy, fine wool, coarse wool, fiber morphology.