

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 202-216.

Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 4. P. 202-216.

Обзорная статья

УДК 636.32/.28:637.62

doi:10.33284/2658-3135-108-4-202

Актуальные вопросы производства и переработки полугрубой и грубой отечественной овечьей шерсти

Константин Эдуардович Разумеев¹, Александр Викторович Медведев², Харон Адиевич Амерханов³, Наталья Евгеньевна Федорова⁴

^{1,2,4}Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии, дизайн, искусство), Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ker2210@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2455-9748>

²24091955@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8225-2189>

³h.amerchanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3626-7316>

⁴fedorova-ne@rguk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0273-5938>

Аннотация. Исследование посвящено качеству и перспективам переработки отечественной овечьей полугрубой и грубой шерсти, объемы которой различными экспертами оцениваются в 30-50 % от всего объема производства невыточенной овечьей шерсти в Российской Федерации. Рассмотрены динамика и тенденции в развитии производства полугрубой и грубой шерсти в Российской Федерации, а также перспективы и возможные варианты технологий переработки видов отечественной овечьей шерсти. Установлено, что в настоящее время более 80 % объема производимой полугрубой и грубой овечьей шерсти не находит оптимального использования в промышленности. Применяемые в отечественном шерстяном комплексе технологии переработки полугрубой и грубой шерсти не позволяют решить эту проблему. Авторами приведены рекомендации по увеличению востребованности отечественной овечьей полугрубой и грубой шерсти за счет использования методов извлечения кератина из волокнистого материала для производства косметики, текстильных волокон и композитных материалов.

Ключевые слова: полугрубошерстные овцы, грубошерстные овцы, породы овец, полугрубая шерсть, грубая шерсть, производство и качество продукции овцеводства, переработка шерсти

Для цитирования: Актуальные вопросы производства и переработки полугрубой и грубой отечественной овечьей шерсти (обзор) / К.Э. Разумеев, А.В. Медведев, Х.А. Амерханов, Н.Е. Федорова // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 202-216. [Razumeev KE, Medvedev AV, Amerkhanov KhA, Fedorova NE. Current issues in the production and processing of domestic semi-coarse and coarse sheep wool (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):202-216. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-202>

Review article

Current issues in the production and processing of domestic semi-coarse and coarse sheep wool

Konstantin E Razumeev¹, Alexander V Medvedev², Kharon A Amerkhanov³, Natalya E Fedorova⁴

^{1,2,4}A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow Russia

¹ker2210@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2455-9748>

²24091955@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8225-2189>

³h.amerchanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3626-7316>

⁴fedorova-ne@rguk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0273-5938>

Abstract. This study examines the quality and prospects for processing domestic semi-coarse and coarse sheep wool, which various experts estimate accounts for 30-50% of all raw sheep wool production

in the Russian Federation. The paper investigates the dynamics and developmental trends of semi-coarse and coarse wool production within the Russian Federation, along with potential technologies for processing various types of domestic sheep wool. It was found that currently, over 80% of the semi-coarse and coarse sheep wool produced is not optimally utilized in the industry. The technologies presently used in the domestic wool industry for processing this type of wool fail to address this issue adequately. The authors provide recommendations for increasing the demand for domestic semi-coarse and coarse sheep wool by employing methods to extract keratin from the fibrous material, which can then be used in the production of cosmetics, textile fibers, and composite materials.

Keywords: semi-coarse wool sheep, coarse wool sheep, sheep breeds, semi-coarse wool, coarse wool, production and quality of sheep products, wool processing

For citation: Razumeev KE, Medvedev AV, Amerkhanov KhA, Fedorova NE. Current issues in the production and processing of domestic semi-coarse and coarse sheep wool (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(4):202-216. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-202>

Введение.

Овцеводство является не только одним из важных направлений в животноводстве в целом, но и ключевым источником натуральной овечьей шерсти, используемой для производства различных текстильных изделий. При этом следует признать, что в общемировом объеме потребления текстильщиками всех видов волокон овечья шерсть сейчас составляет около 1 % (IWTO, 2024; Разумеев К.Э. и др., 2021). Очевиден существенный сдвиг в объемах использования мировым текстилем в пользу бурно развивавшихся в XX веке многочисленных видов химических волокон (Morton WE and Hearle JWS, 2008; Pepper LR et al., 2021).

По сравнению с началом 90-х годов XX столетия в России произошли существенные изменения в породной структуре овцеводства. Так, по данным ВНИИОК (Селионова М.И. и др., 2017), существенное сокращение численности тонкорунных овец, снижение их продуктивности на фоне ухудшения племенной работы привели к дестабилизации предприятий первичной обработки шерсти и текстильной промышленности страны (Амерханов Х.А. и др., 2025).

По данным ВНИИПлем, в 1990 г. в стране численность овец составляла 88,3 % тонкорунных, 11,3 % полутонкорунных и 0,4 % грубошерстных пород овец, а на 01.01.2018 г. эта структура изменилась в следующем соотношении: тонкорунных – 59,7 %, полутонкорунных – 5,0 % и грубошерстных – 30,4 %. Остальное количество составляют овцы не известного направления продуктивности. Резкое снижение численности тонкорунных овец – результат их скрещивания с грубошерстными, в том числе и с недавно созданными породами. Особенно много случаев использования романовской мясо-шубной, эдильбаевской мясо-сальной и других пород разного направления продуктивности (Абонеев В.В. и др., 2019). В указанный период при снижении поголовья тонкорунных и полутонкорунных овец численность грубошерстных и полугрубошерстных овец увеличилась. За период 2000-2022 гг. численность тонкорунных и полутонкорунных овец в сельхозорганизациях РФ сократилась на 54,6 и 77,1 %, а грубошерстных и неидентифицированных (в основном помесных) увеличилась в 4,3 и в 4,1 раза (Трухачев В.И. и др., 2023).

Полугрубошерстное и грубошерстное отечественное овцеводство в настоящее время представлено следующими породами овец: андийская, ассаф, гиссарская, буубэй, дорпер, калмыцкая курдючная, каракульская, карачаевская, катумская, кучугуровская, лезгинская, монгольская, осетинская, романовская, тувинская, короткожирнохвостая тувинская, эдильбаевская (Амерханов Х.А. и др., 2017; Егоров М.В. и др., 2024; Ежегодник ВНИИПлем, 2025). Справедливости ради следует признать, что в современной научной отечественной литературе вопросы производства полугрубой и грубой шерсти представлено мало. Можем отметить публикацию в рамках одной из конференций, проведенной в Оренбурге в 2018 году, где были изучены современное состояние и перспективы развития одной из пород овец (тувинская короткожирнохвостая), являющейся важным представителем этого направления не только для Республики Тыва, но и для России в целом (Чылбак-оол С.О. и др., 2018).

Для большинства указанных пород овец шерсть не является единственным видом продуктивности, однако, в мировой практике неоднократно подчеркивалось существенные возможности

повышения общей экономической привлекательности данного направления в овцеводстве и за счет стабильного сбыта полугрубой и грубой шерсти. поголовье грубошерстных и полугрубошерстных овец в мире является достаточно стабильным ввиду того, что их основной продукцией считаются мясо и молоко, спрос на которые в мире остается достаточно стабильным (Ерохин А.И. и др., 2019; Разумеев К.Э. и др., 2021).

В материале рассмотрены динамика и перспективы производства полугрубой и грубой отечественной шерсти овцами различных пород. При этом полугрубой и грубой овечьей шерстью считается шерстный покров овец, имеющий среднюю тонины более 31,1 мкм (48^к и ниже – по т. н. Бранфордской классификации) с любой длиной штапелей или косиц (Трухачев В.И. и др., 2012).

Каждая из выше указанных пород имеет существенные различия в основных качественных показателях (тонина, длина, прочность, неравномерность по этим показателям и др.) производимой шерсти, что, безусловно, отражается и на перспективах ее использования в промышленности.

По данным исследователей, заметное влияние на тонины шерсти оказывают климатические факторы (Хорунжий Л.И. и др., 2025), и условия содержания (Басонов О.А. и др., 2023).

В целом указывается, что в последние 25-30 лет имеет место существенный дисбаланс между объемами производства и переработки полугрубой и грубой отечественной шерсти (Разумеев К.Э., 2018; Егоров М.В. и др., 2024).

Глубокая переработка полугрубой и грубой отечественной шерсти кроме экономической составляющей имеет еще и социальную, так как приводит к упадку отрасли овцеводства в целом (Хорунжий Л.И. и др., 2024).

Цель исследования

Определить необходимые уровни качественных показателей полугрубой и грубой отечественной овечьей шерсти, которые могли бы обеспечить более гарантированную востребованность промышленностью.

Материалы и методы исследования.

Для достижения поставленной цели в данном исследовании был применен комплекс методов, включающий сбор и анализ статистических данных, сравнительный анализ технологий.

Материалом для анализа динамики отрасли послужили данные Росстата, Ежегодников ВНИИПлем, а также докладов Национального союза овцеводов за период с 1990 по 2025 годы. Для периодов, по которым отсутствовала открытая статистика по видам шерсти (2000-2020 гг.), объемы производства полугрубой и грубой шерсти были рассчитаны авторами на основе ретроспективного анализа породного состава овец, данных о среднем настриге с одной головы по породам и известным качественным характеристикам шерсти, получаемой от овец конкретных пород.

Был проведен систематический обзор отечественных и зарубежных научных публикаций (включая РИНЦ, PubMed, ResearchGate, Springer) и патентных источников, посвященных механическим и химическим методам переработки низкосортной шерсти.

Результаты исследования и их обсуждение.

Овцеводство в Российской Федерации представлено 51 породой овец, относящихся к тонкорунным, полутонкорунным, полугрубошерстным и грубошерстным породам. Известно, что отечественное овцеводство в последние 30-35 лет переживало резкий спад (период до 1998 года), потом период компенсации и некоторого подъема (1999-2014 годы), в настоящее время, к сожалению, вновь необходимо признать, что ежегодно основные показатели по всем направлениям овцеводства снижаются, ряд пород находится под угрозой полной утраты поголовья (Разумеев К.Э. и др., 2013; Yuldashbayev Y et al., 2017; Трухачев В.И. и др., 2023).

В таблице 1 представлены сопоставительные данные по основным показателям отечественного овцеводства и производства немытой шерсти в период с 1990 по 2025 годы.

Таблица 1. Динамика основных показателей отечественного овцеводства и производства немытой шерсти по видам в период 1990-2025 гг.

Table 1. Dynamics of main indicators for domestic sheep husbandry and production of greasy wool by type during period 1990-2025

Показатель/ <i>Indicator</i>	Категория / <i>Category</i>	Год / <i>Year</i>				
		1990	2000	2010	2020	2025
Поголовье, тыс. голов / <i>Livestock, thousand heads</i>	Все виды хозяйств / <i>All categories of farms</i>	55242	12730	19770	19785	17790
	Сельскохозяйствен. организации / <i>Agricultural organizations</i>	41658	4499	4250	3107	2570
	Хозяйства населения (ЛПХ) / <i>Private household farms (PHF)</i>				8577	7840
	Крестьянские (фермерские) хозяйства / <i>Peasant (farm) households</i>	13584	8231	15520		
					8101	7380
Производство немытой шерсти в физическом весе, тонн / <i>Production of unwashed wool in physical weight, tons</i>	Все виды хозяйств / <i>All categories of farms</i>	226700	40088	53521	51660	40800
	Сельскохозяйствен. организации / <i>Agricultural organizations</i>	170940	15144	10541	9081	6050
	Хозяйства населения (ЛПХ) / <i>Private household farms (PHF)</i>		22755	29113	22909	17800
	Крестьянские (фермерские) хозяйства / <i>Peasant (farm) households</i>	55760				
			2189	13868	18818	16900
Производство немытой шерсти по видам, тонн / <i>Production of unwashed wool by type, tons</i>	Тонкая / <i>fine</i>	172292	27660	31577	25830	17000
	Полутонкая / <i>semi-fine</i>	27204	6414	11239	12915	11560
	Полугрубая / <i>semi-coarse</i>	15869				
	Грубая / <i>coarse</i>	11335	6014	10705	12915	12240

Многие из приводимых в таблице 1 данных за 2000-2020 гг. публикуются авторами впервые, т. к. открытые источники статистических данных по овцеводству в качестве обязательных не предусматривались. Данные по 2025 г. приводились в докладе одного из руководителей Национального союза овцеводов Егорова М.В. на Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в животноводстве. Интеграция науки и практики для обеспечения продовольственной безопасности страны», проведенной в Ставрополе 16-17 октября 2025 г.

Анализ объемов производства немытой шерсти по основным группам тонины в последние 35 лет в нашей стране, к сожалению, не производился, хотя эти результаты можно получить, сопоставив данные о динамике породного состава, о настриге шерсти с 1 овцы (по породам, соотношениям различных половозрастных групп животных), а также по известным данным о том, какую немытую шерсть можно получить от овец той или иной породы.

Безусловно, необходимо учитывать, что точный породный учет в овцеводстве РФ производится только в племенных и сельскохозяйственных организациях, т. е. в организациях, где содержится только 14,4 % овец на начало 2025 года (Егоров М.В. и др., 2024; Ежегодник ВНИИПлем,

2025). Известны и более радикальные оценки объемов полугрубой и грубой отечественной шерсти (Джуринская И.М. и др., 2015). В то же время следует учитывать, что в XX и в начале XXI вв. в Российской Федерации отечественная полугрубая и грубая шерсть использовалась в основном для производства шерстяного фетра, войлока и сукна.

В таблице 2 представлены данные об объемах потребления полугрубой и грубой шерсти в производствах фетра, войлока и сукна в период до 2000 г.

Таблица 2. Потребление шерсти в производстве фетра, войлока и сукна

Table 2. Use of wool for felt, nonwoven and woollen fabrics production

Наименование продукции / Type of production	Объем производства, тыс. м ² / Amount of production, 000 sq. meters	Поверхностная плотность, кг/м ² / Fabric weight, kg/m ²	Шерсть в чистом волокне, тыс. т / Wool (clean weight), thousand tons	Немытая шерсть, тыс. т / Unwashed wool, thousand tons
Фетр и войлок / Felt and felt nonwoven	355	5	1,78	4,2
Сукно / Woollen fabrics	2000	0,76	1,52	3,6
Итого / Total			3,3	7,8

В настоящее время потребности в тяжелых суконных тканях после 80-90-х годов XX века существенно снизились. Потребность в сырье для производства шерстяного фетра, войлока и сукна из полугрубой и грубой шерсти оценочно не превышает 1-1,2 тыс. тонн (производство – более 12 тыс. тонн). Таким образом имеется существенный дисбаланс между объемами производства шерсти и ее фактическим потреблением. По мнению авторов, существующие в стране технологии переработки полугрубой и грубой шерсти не позволяют решить данную проблему.

В связи с большими объемами не востребованной шерсти ее утилизируют, причем в некоторых случаях сжиганием. При горении шерсти выделяются цианистый водород, сернистый ангидрид, сероводород и другие токсичные соединения. Сжигание отходов шерсти как способ их уничтожения не практикуется в связи с тем, что в дымовых газах, образующихся при горении шерсти, много трудноуловимых дурнопахнущих сернистых соединений, диоксинов, копоти (Рогачев Н.В., 2000). Захоронение шерсти на полигонах требует отчуждения больших земельных площадей и сопряжено с высокими транспортными затратами. При этом создаются условия, способствующие распространению инфекций (Пан Л.Н., 2001).

Рекомендуемые технологии. Известно, что в полугрубой и грубой шерсти содержится и определенное количество пуховых волокон, имеющих не только существенно меньшую тонины, но и большую востребованность в промышленности.

В связи с этим следует внимательно изучить технологии, которые обеспечивают выделение из полугрубой и грубой шерсти пуховых волокон. Как правило, все они предусматривают неоднократный процесс кардочесания. Частично проблему переработки полугрубой и грубой отечественной овечьей шерсти с получением из нее качественной продукции в виде пуха, топса, пряжи и готовых изделий можно решать, используя переработку на кардочесальных машинах или кардочесальных аппаратах (в зависимости от длины шерсти).

Кардочесальные машины и кардочесальные аппараты для такой технологии возможно разместить на предприятиях первичной обработки шерсти, обычно, после завершения классического процесса промывки и сушки. Выход продукции (кардочесальной ленты) после двух- либо трех-прочесов из массы исходного волокнистого материала может составить около 40 %, однако, такой

¹От английского термина – sliver – до сих пор широко используется в промышленности, а также зарубежной научной литературе.

полуфабрикат (кардочесальная лента или сливер¹) имеет существенно более высокую цену на рынке, что, в свою очередь, положительно исправляет общую рентабельность полугрубошерстного и грубошерстного овцеводства.

Иные современные технологии, как правило, направлены на извлечение кератина из исходного волокнистого материала для целей производства косметики, текстильных волокон и композитных материалов. Наиболее перспективным в настоящее время является производство шерстяных порошков и кератина из видов шерсти, имеющих нестабильный спрос, а также отходов предприятий шерстяной промышленности.

Технологии на основе извлечения кератина из волокнистого материала. В мировой практике получили свое распространение как механические методы (Rajkhowa R et al., 2012; Tonin C et al., 2006), так и чуть позднее появившиеся химические методы (Pakkaner E et al., 2019; Fitz-Binder C et al., 2019), открывшие перечень технологий извлечения кератина из волокнистого материала. Также известны и научные результаты еще ряда групп исследователей и разработчиков (Eslahi N et al., 2013; Shavandi A et al., 2017; Chilakamaray CR et al., 2021; Goyal S et al., 2022).

Шерстяной порошок – это волокнистый материал, получаемый путем механической обработки и измельчения шерсти. Процесс производства включает в себя разволокнение, очистку и последующее измельчение (операции могут повторяться). Для производства шерстяных порошков обычно используются различные механические методы, такие как плоскостное измельчение, комбинированное мокрое и воздушно-струйное измельчение, парофазный взрыв, сублимационное измельчение и трехступенчатое измельчение. Полученный порошок обладает высокой удельной поверхностью и хорошей адгезией к различным материалам. Используется для производства строительных, композитных и тепло-, звукоизоляционных материалов (Zhang C et al., 2020). Основные свойства экологически чистого теплозвукоизоляционного материала, произведенного по т. н. «зеленой технологии», приведены в таблице 3 (Rajabinejad H et al., 2019).

Таблица 3. Основные свойства теплозвукоизоляционного материала из шерстяного порошка
Table 3. The main properties of thermal and sound insulation material made of wool powder

Наименование свойств / <i>Naming of properties</i>	Характеристики свойств / <i>Characteristics of properties</i>
Теплопроводность, Вт/м×К / <i>Thermal conductivity, Wt/m×K</i>	0,034-0,068
Плотность, кг/м ³ / <i>Density, kg/m³</i>	22-23
Коэффициент звукопоглощения (500-2000 Гц, толщина 60 мм) / <i>Sound absorption coefficient (500-2000 Hz, 60 mm thick)</i>	0,572 при 500 Гц / <i>0.572 at 500 Hz</i> 0,966 при 2000 Гц / <i>0.966 at 2000 Hz</i>
Польза для здоровья / <i>Health benefits</i>	Улучшение качества воздуха в помещениях за счет сорбции / <i>Improving indoor air quality through sorption</i>
Экологические последствия / <i>Environmental impacts</i>	Снижение потенциала глобального потепления / <i>Reducing the potential of global warming</i>
Стоимость за единицу, \$/м ² / <i>Cost per unit, \$/m²</i>	7,75

Механические методы производства шерстяных порошков основаны на разрушении шерстяного волокна в полях сил трения рабочих органов машин. К механическим методам относят: плоскостное измельчение, комбинированное мокрое и воздушно-струйное измельчение, парофазный взрыв, сублимационное измельчение и трёхступенчатое измельчение.

Плоскостное измельчение выполняется с помощью самодельной машины с двумя специальными мельничными барабанами, у одного из которых – вогнутая поверхность, а у другого – выпуклая. Мелкий шерстяной порошок с улучшенной термостойкостью имеет преимущества при использовании

в полимерных материалах. Минимальный размер частиц – 2 мкм (Li Y et al., 2006). Метод является удобным, простым и экономичным, однако для этого метода требуется специальное оборудование.

Комбинированное мокрое и воздушно-струйное измельчение осуществляется с использованием циркулирующей охлаждающей воды (+18 °С). После мокрого измельчения влажные порошки высушивались распылением при температуре +130 °С. Полученные высушенные частицы шерсти измельчаются с помощью воздушно-струйного мельничного аппарата при давлении воздуха до 0,76 МПа. Средний размер частиц – от 4,0 мкм до 1,5 мкм. Анализ шерстяного порошка по Брунауэру–Эмметту–Теллеру (BET) показывает, что площадь поверхности ультрадисперсных частиц шерсти в 700 раз выше, чем у исходного шерстяного волокна (Rajkhowa R et al., 2012).

Метод парового взрыва заключается в обработке влажных шерстяных волокон насыщенным паром при температуре +220 °С без использования химических веществ. Затем суспензию фильтруют и сушат при температуре +105 °С, а потом измельчают до состояния коротких шерстяных фрагментов или бесформенных агрегатов. Осадок из жидкой фазы отделяют в центрифуге. В высушенном осадке наблюдается шерстяной порошок сферической формы (диаметром от 0,5 до 3,0 мкм), это связано с внешней термической усадкой белка. Полученные продукты, по сравнению с исходной шерстью, демонстрируют степень нарушения гистологической структуры, снижения молекулярной массы до уровня водорастворимых пептидов и свободных аминокислот, а также изменения структуры оставшейся части белка, связанные с разрывом дисульфидных связей и разложением белковой фракции с высоким содержанием серы. Этот процесс подходит для быстрой предварительной обработки шерстяного волокна (Tonin C et al., 2006). Преимущество – в высокой экологичности.

Сублимационное измельчение проводится с помощью морозильно-мельничной установки, работающей на жидком азоте. В жидком азоте окисление не происходит, поэтому получается белый шерстяной порошок. Рамановская спектроскопия показала, что процесс сублимационного измельчения не влияет на химическую структуру шерсти. Кроме того, шерстяной порошок сохраняет термические свойства шерстяных волокон. Этот метод считается подходящим для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью или в качестве предварительной обработки, поскольку в процессе измельчения используется безопасный жидкий азот. Средний размер частиц мелкодисперсных порошка шерсти составляет около 60 мкм, а размер некоторых частиц – даже меньше 20 мкм. Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье, рамановская спектроскопия и анализ аминокислот подтверждают, что метод сублимационного измельчения является безопасным способом получения ультратонкого порошка, не влияющим на химическую структуру шерсти (Nasabo AG et al., 2015).

Трехступенчатое измельчение включает три основных этапа, как следует из его названия. На первом этапе после предварительной обработки дисульфидная связь шерстяного волокна постепенно окислялась. Сначала шерсть измельчали до состояния палочкообразных частиц размером около 300 мкм, а затем до состояния сверхтонкого порошка размером менее 10 мкм. На втором этапе частицы шерсти измельчили с помощью ультразвуковой дробилки, чтобы получить шерстяной порошок диаметром 0,1–7 мкм. На третьем этапе тонкий шерстяной порошок измельчается до наноразмерного сферического порошка (диаметром менее 100 нм) с помощью наноколлайдера. Сферический наноразмерный шерстяной порошок, получаемый этим методом, имеет пониженную кристалличность и повышенное содержание вторичных аминогрупп. Кроме того, в химической структуре частиц шерсти не наблюдается заметных изменений (Cheng YF et al., 2007).

Химические методы извлечения кератина из шерстяного волокна включают восстановление, окисление и сульфитоллиз, с применением окислительных и восстановительных агентов для расщепления дисульфидных связей.

Окислительно-восстановительный метод основан на применении в качестве окислителя надуксусой и перуксусной кислот. Основное преимущество методов окисления заключается в том, что белок можно разделить на α -, β - и γ -кератозы на основе их разной растворимости при разных значениях pH. Кроме того, полученная кератоза содержит большое количество цистеин-S-

сульфированных остатков (Pakkaner E et al., 2019). Недостатком этого метода является низкий выход экстракта и высокая продолжительность процесса. С целью повышения выхода кератина из шерсти до 70 % в качестве окислителя могут применяться различные композиции, например растворитель на основе хлорида кальция (CaCl_2)-воды-этанола и тиогликолевой кислоты (Fitz-Binder C et al., 2019).

Ионные жидкости (ИЖ) с низкой температурой плавления широко используются для растворения различной биомассы благодаря своим свойствам, в том числе нелетучести, негорючести, термической стабильности, простоте переработки и настраиваемой структуре. Таким образом, можно разработать простой и экологичный метод извлечения кератина из шерсти. Несколько исследовательских групп пытались получить кератин из шерсти с помощью различных ИЖ. Извлечение кератина из шерсти обычно представляет собой трехэтапный процесс. Очищенные шерстяные волокна сначала добавляют в ионную жидкость с помощью магнитной мешалки в атмосфере азота или воздуха. Затем растворенный кератин из шерсти промывают, чтобы удалить ионную жидкость. Наконец, кератиновые порошки получают путем сушки в печи или сублимационной сушки. В работе Xie HB с коллегами (2005) сравнивали влияние [AMIM] Cl (1-аллил-3-метилимидазолий хлорид), [BMIM] Cl (хлорида 1-бутил-3-метилимидазолий), [BMIM] Br (1-бутил-3-метилбромид имидазоль) и ряда других ионных жидкостей на растворимость шерстяных волокон. Результаты показали, что ион Cl- лучше растворяет шерстяные волокна. Полученный кератин шерсти имел структуру β -листов без структуры α -спиралей. Регенерированный кератин с использованием ионных жидкостей обладает высокой термостойкостью по сравнению с натуральной шерстью. Они также продемонстрировали, что [BMIM] Cl способен значительно разрушать водородные связи в смешанных материалах из кератина и целлюлозы.

Глубокий эвтектический растворитель – Deep Eutectic Solvent (DES). Метод экстрагирования кератина из шерсти смесью хлорида холина и щавелевой кислоты. Оптимизированные условия растворения были следующими: молярное соотношение хлорида холина и щавелевой кислоты – 1:2; шерсть – 5 % по массе, температура – +110...+125 °C, время реакции – 2 часа. Рентгеноструктурный анализ показал, что шерстяные волокна были декристаллизованы благодаря использованию растворителя на основе диэтилсульфоксида. Полученный кератин имел молекулярную массу от 3,3 до 7,8 кДа, что еще раз подтверждает хорошую растворяющую способность растворителей на основе диэтилсульфоксида. Кроме того, кератин шерсти, полученный методом DES, по аминокислотному составу схож с шерстяным волокном (Wang D and Tang RC, 2018).

Считаем необходимым здесь отметить и некоторые преимущества метода DES перед другими методами обработки шерсти (Moore KE et al., 2016):

1. Экологичность. Растворитель метода DES недорогой, биосовместимый и безвредный для окружающей среды.
2. Низкая температура экстракции.
3. Сохранение структуры шерсти. Полученный кератин имеет аминокислотный состав, аналогичный составу исходного шерстяного волокна

Обработка раствором бромид лития (LiBr), который давно известен своей способностью расщеплять кератин. Исследования, проведенные в Гарвардском университете (Wang Y et al., 2025), показали, что ионные растворенные вещества могут служить мощными денатурирующими агентами, несмотря на отсутствие прямого взаимодействия между белками и ионами. Разработан технологический процесс переработки белковых отходов (шерсть, перо), который отличается замкнутым циклом переработки денатурирующих веществ, простым разделением белков и удобством производства. Все это стало возможным благодаря денатурации под действием LiBr, обусловленной энтропией. Известно, что борид лития меняет структуру воды вокруг белка, создавая условия, в которых кератин разворачивается самостоятельно.

Электролиты являются неотъемлемой частью среды для всех форм жизни, где белки, вода и растворенные вещества взаимодействуют друг с другом, поддерживая жизненно важные процессы. Однако фундаментальное понимание того, как ионные растворенные вещества влияют на белки, остается недоступным уже более ста лет.

Некоторые ионные растворенные вещества могут служить мощными денатурирующими агентами, несмотря на отсутствие прямого взаимодействия между белками и ионами. В частности, демонстрируются значительные различия в способности к денатурации у разных ионных растворов: бромид лития (LiBr) является самым сильным денатурирующим агентом, а бромид натрия (NaBr) – наименее сильным. Эксперименты и моделирование показывают, что присутствие определенных ионов нарушает структуру водной сети, тем самым косвенно вызывая денатурацию белков за счет энтропийного механизма. Кроме того, мы представляем масштабируемую стратегию переработки белковых отходов, которая отличается замкнутым циклом переработки денатурирующих веществ, простым разделением белков и удобством производства. Все это стало возможным благодаря денатурации под действием LiBr, обусловленной энтропией. Благодаря успешному выделению и систематическому изучению не прямых эффектов растворенных веществ результаты проведенных исследований позволяют предположить наличие единой и применимой в целом схемы для расшифровки взаимосвязи между белком, водой и растворенными веществами, в которую можно легко включить все проводящиеся исследования. Кроме того, наш подход к регенерации подчеркивает возможность переработки белковых отходов в ценные биоматериалы с широким потенциалом применения. Бромид лития используется в аккумуляторных батареях электромобилей, утилизация которых является не только весьма актуальной, но и сложной научно-технической задачей. Применение бромида лития для переработки шерсти может, по нашему мнению, помочь решению сразу нескольких как экономических, так и экологических проблем Шерстяного комплекса Российской Федерации.

Приведенные в статье варианты механических и химических методов извлечения кератина из исходного волокнистого материала уже находят свое использование за рубежом, в т. ч. и в Австралии – признанной всеми стране-лидере овцеводству и по производству шерсти.

В Российской Федерации до настоящего времени мало востребованными видами шерсти являются полугрубая и грубая овечья шерсть. Общий объем этих видов шерсти, остающийся ежегодно не востребованным при классических технологиях переработки авторами, оценивается в 9-11 тыс. тонн.

Заключение.

Авторами выявлена существенная, более того, нарастающая проблема в отечественном овцеводстве: дисбаланс между объемами производства и переработки полугрубой и грубой овечьей шерсти в Российской Федерации. Многолетний мониторинг ключевых показателей отечественного овцеводства (прежде всего, шерстного направления продуктивности), а также и развития технологий первичной обработки и переработки шерсти позволяет отметить следующие тенденции:

1. Доля поголовья овец, содержащихся в племенных и сельскохозяйственных организациях РФ, в период между 1990 и 2025 годами существенно снизилась: с 75,4 % до 14,4 %.

2. Доля поголовья овец, содержащихся в хозяйствах населения и фермерских хозяйствах (в совокупности) РФ, в тот же период существенно выросла: с 24,6 % до 85,6 %.

3. Доля полугрубой и грубой шерсти в общих объемах производства отечественной овечьей шерсти в период между 1990 и 2025 годами существенно выросла: с 12 % до 30 %.

4. Технологии, используемые на большинстве отечественных предприятий первичной обработки шерсти, к сожалению, не являются гибкими, мало учитывают специфику видов перерабатываемой овечьей шерсти.

5. Полугрубая и грубая отечественная овечья шерсть до настоящего времени не имеет оптимальных вариантов первичной обработки, в связи с этим и перспективы ее переработки и использования в различных изделиях весьма ограничены.

6. В мировой практике уже получили развитие различные методы извлечения кератина из волокнистых материалов. Наиболее перспективным направлением извлечения кератина из овечьей шерсти являются химические методы. Это обусловлено высоким качеством получаемого продукта и низким воздействием такой технологии на окружающую среду.

Среди рассмотренных методов переработки полугрубой и грубой шерсти авторы считают наиболее перспективными химические, а именно обработка бромидом лития как наиболее технологичная и экологичная. Авторы и преподаватели кафедр двух авторитетных российских университетов, а именно: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева и РГУ им. А.Н. Косыгина приступили к подтверждению известных экспериментальных данных по обработке отечественной полугрубой и грубой овечьей шерсти бромидом лития.

Ведущие научные школы в данной сфере сосредоточены в РГУ имени А.Н. Косыгина и РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Предлагаем заинтересованным организациям принять участие в совместном продвижении и тиражировании в организациях Шерстяного комплекса РФ приведенных выше рекомендаций.

Список источников

1. Абонеев В.В., Марченко В.В., Абонеева Е.В. Повышение эффективности научного обеспечения современного состояния овцеводства в России. Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 2. С. 5-9. [Aboneev VV, Marchenko VV, Aboneeva EV. Povishenie effektivnosti nauchnogo obespecheniya sovremennogo sostoyaniya ovtsevodstva v Rossii. Sheep, Goats, Wool Business. 2019;2:5-9. (*In Russ.*)].
2. Амерханов Х.А., Трухачев В.И., Селионова М.И. Из истории российского овцеводства: монография. Ставрополь: ИП Мокринский Н.С., 2017. 408 с. [Amerkhanov KA, Truchatchev VI, Selionova MI. Iz istorii rossiiskogo ovtsevodstva: monografiya. Stavropol: IP Mokrinskii NS; 2017:408 p. (*In Russ.*)].
3. Басонов О.А., Илиади Ю.Х., Гусева Г.С. Шерстяная продуктивность и качественные показатели шерсти горьковской породы в генофондном хозяйстве // Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета. 2023. № 3(39). С. 33-38. [Basonov OA, Iliadi YuKh, Guseva GS. Wool productivity and quality indicators of wool of the gorki sheep breed in a gene pool farm. Vestnik of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University. 2023;3(39):33-38. (*In Russ.*)].
4. Вектор развития овцеводства в мире и России / В.И. Трухачев, А.И. Ерохин, Ю.А. Юлдашбаев, С.А. Ерохин // Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 4. С. 3-9. [Trukhachev VI, Erokhin AI, Yuldashbaev YuA, Erokhin SA. Vector of sheep breeding development in the world and Russia. Sheep, Goats, Wool Business. 2023;4:3-9. (*In Russ.*)]. doi: 10.26897/2074-0840-2023-4-3-9
5. Джурина И.М., Отыншиев М.Б., Абдыкаримов Г.Н. О переработке полугрубой и грубой овечьей шерсти по гребенной системе прядения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 2(356). С. 51-56. [Jurinskaya IM, Oтынshieyev MB, Abdykarimov GN. About processing of semicourse and coarse sheep wool on combing spinning. Proceedings of higher education institutions. Textile Industry Technology. 2015;2(356):51-56. (*In Russ.*)].
6. Егоров М.В., Луконина О.Н., Чернов В.В. Овцеводство и козоводство Российской Федерации в цифрах: справочник / под рук. Академика РАН Амерханова Х.А. Ставрополь, 2024. 128 с. [Egorov MB, Lukonina ON, Chernov VV. Ovtsevodstvo i kozovodstvo Rossiiskoi Federatsii v tsifrakh: spravochnik. pod ruk. Akademika RAN Amerkhanova KhA. Stavropol; 2024: 128 p. (*In Russ.*)].
7. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2024 год). М.: Издательство ФГБНУ ВНИИплем, 2025. 311 с. [Ezhegodnik po plemennoi rabote v ovtsevodstve i kozovodstve v khozyaistvakh Rossiiskoi Federatsii (2024 god). Moscow: Izdatelstvo FGBNU VNIIPlem; 2025: 311 p. (*In Russ.*)].
8. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Состояние, динамика и тенденции развития овцеводства в мире и в России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. № 3. С. 3-6. [Erochin AI, Karasev EA, Erochin SA Sostoyanie, dinamika i tendentsii razvitiya ovtsevodstva v mire i v Rossii. Sheep, Goat, Wool business. 2019;3:3-7. (*In Russ.*)].
9. Отечественное овцеводство, породные и региональные особенности / Х.А. Амерханов, К.Э. Разумеев, Ю.А. Юлдашбаев, Н.Е. Федорова // Зоотехния. 2025. № 11. С. 25-31. [Amer-

khanov KhA, Razumeev KE, Yuldashbaev YA, Fedorova NE. Domestic sheep breeding, breed and regional features. *Zootekhnika*. 2025;11: 25-31. *(In Russ.)*. doi: 10.25708/ZT.2025.67.83.007

10. Пан Л.Н. Экология и технологические процессы современных методов переработки твердых бытовых отходов // Ресурсосберегающие технологии: экспресс-информация. 2001. № 9. С. 21-34. [Pan LN. Ekologiya i tekhnologicheskie protsessi sovremennikh metodov pererabotki tverdkh bitovikh otkhodov. *Resursosberegayushchie tekhnologii: ekspress-informatsiya*. 2001;9:21-34. *(In Russ.)*].

11. Повышение качества продукции овцеводства и звероводства: монография / К.Э. Разумеев, В.И. Трухачев, Н.А. Балакирев, Ю.А. Юлдашбаев. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2021. 280 с. [Razumeev KE, Trukchachev VI, Balakirev NA, Yuldashbayev YuA. *Povishenie kachestva produktsii ovtsevodstva i zverovodstva: monografiya*. Moscow: RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva; 2021: 280 p. *(In Russ.)*].

12. Породное овцеводство в Российской Федерации: динамика и тенденции в период после 1991 года / Разумеев К.Э., Разумеев В.К., Василева А.К., Куликова Н.В., Амерханов Х.А. и др. // Сборник научных трудов ООО НПК «ЦНИИШерсть». Одинцово: Изд-во АНОО ВПО ОГИ, 2013. С. 9-47. [Razumeev KE, Razumeev VK, Vasileva AK, Kulikova NV, Amerkhanov HA. *Porodnoe ovtsevodstvo v Rossiiskoi Federatsii: dinamika i tendentsii v period posle 1991 goda. Sbornik nauchnikh trudov OOO NPK «TsNIISherst»*. Odintsovo: Izdatelstvo ANOO VPO OGI; 2013:9-47. *(In Russ.)*].

13. Разумеев К.Э. Современное состояние и динамика производства и переработки шерсти в мире // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 4. С. 30-33. [Razumeev KE. *Sovremennoe sostoyanie i dinamika proizvodstva i pererabotki shersti v mire*. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2018;4:30-33. *(In Russ.)*].

14. Рогачев Н.В. Шерсть и охрана окружающей среды. Овцы, козы, шерстяное дело. 2000. № 4. С. 43-49. [Rogachev NV. *Sherst' i okhrana okruzhayushchei sredy*. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2000;4:43-49. *(In Russ.)*].

15. Трухачев В.И., Мороз В.А. Шерстование: учебник. Ставрополь: АГРУС, 2012. 496 с. [Trukhachev VI, Moroz VA. *Sherstovedenie: uchebnik*. Stavropol: AGRUS; 2012:496 p. *(In Russ.)*].

16. Формирование системы аналитического мониторинга рынка продукции овцеводства / Л.И. Хорунжий, Г.К. Джанчарова, Л.В. Постникова, К.А. Лебедев // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 4. С. 35-39. [Khoruzhy LI, Dzhanchakova GK, Postnikova LV, Lebedev KA. *Formation of a system of analytical monitoring of the sheep production market*. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2024;4:35-39. *(In Russ.)*. doi: 10.26897/2074-0840-2024-4-35-39

17. Хорунжий Л.И., Джанчарова Г.К., Постникова Л.В., Лебедев К.А. Влияние климата на экономику овцеводства // Овцы, козы, шерстяное дело. 2025. № 2. С. 30-35. [Khoruzhiy LI, Dzhanchakova GK, Postnikova LV, Lebedev KA. *The impact of climate change on the economy of sheep farming*. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2025;2:30-35. *(In Russ.)*. doi: 10.26897/2074-0840-2025-2-30-35

18. Чылбак-оол С.О., Юлдашбаев Ю.А., Донгак М.И. К вопросу о создании и современном состоянии овец тувинской короткожирнохвостой породы // Современные тенденции развития биологической и ветеринарной науки: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., (г. Оренбург, 20-22 апр. 2017 г.). Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2018. С. 144-150. [Chilbak-ool SO, Yldashbayev YA, Dongak MI. *K voprosu o sozdanii i sovremennom sostoyanii ovets tuvinskoi korotkozhirnokhvostoi porodi (Conference proceedings) Sovremennie tendentsii razvitiya biologicheskoi i veterinarnoi nauki: sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Orenburg, 20-22 apr. 2017 g.)*. Orenburg: Izdatelskii tsentr OGAU; 2018:144-150. *(In Russ.)*].

19. Экономика овцеводства: плюсы и минусы / М.И. Селионова, Г.Т. Бобрышова, З.К. Гаджиев, С.А. Измалков // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 1. С. 5-9. [Selionova MI, Bobryshova GT, Gadzhiev ZK, Izmailkov SA. *Ekonomika ovtsevodstva: plyusi i minusi*. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2017;1:5-9. *(In Russ.)*].

20. Cheng YF, Yuen CWM, Li Y, Ku SKA, Kan CW, Hu JY. Characterization of nanoscale wool particles. *J Appl Polym Sci*. 2007;104(2):803-808. doi: 10.1002/app.25631

21. Chilakamarry CR, et al. Extraction and application of keratin from natural resources: a review. *3 Biotech.* 2021;11(5):220. doi: 10.1007/s13205-021-02734-7
22. Eslani N, Dadashian F, Nejad N. An investigation on keratin extraction from wool and feather waste by enzymatic hydrolysis. *Preparative Biochemistry and Biotechnology.* 2013;43(7):624-648. doi: 10.1080/10826068.2013.763826
23. Fitz-Binder C, Pham T, Bechtold T. A second life for low-grade wool through formation of all-keratin composites in cystine reducing calcium chloride–water–ethanol solution. *J Chem Technol Biotechnol.* 2019;94(10):3384-92. <https://doi.org/10.1002/jctb.6151>
24. Goyal S, et al. Extraction of keratin from wool and its use as biopolymer in film formation and in electrospinning for composite material processing. *Journal of Engineered Fibres and Fabrics.* 2022;17(10):15589250221090499. doi: 10.1177/15589250221090499
25. Hassabo AG, Salama M, Mohamed AL, Popescu C. Ultrafine wool and cotton powder and their characteristics. *J Nat Fiber.* 2015;12(2):141-153.
26. IWTO. [Internet]. Market Information. 19th Edition. Brussels: International Wool Textile Organisation; 2024: 126 p. Available from: <https://www.member.iwto.org/store/viewproduct.aspx?id=24349278> (cited 16.07.2025).
27. Li Y, Xu WL, inventors. Apparatus for producing fine powder. United States Patent 7,000,858 B2. Feb. 21, 2006.
28. Moore KE, et al. Wool deconstruction using a benign eutectic melt. *RSC Adv.* 2016;6:20095. doi:10.1039/C5RA26516A
29. Morton WE, Hearle JWS. Physical properties of textile fibres. 4th edition. England, Cambridge: Woolhead Publishing LTD; 2008: 775 p.
30. Pakkaner E, Yalcin D, Uysal B, Top A. Self-assembly behavior of the keratose proteins extracted from oxidized Ovis aries wool fibers. *Int J Biol Macromol.* 2019;125:1008-1015. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.129
31. Pepper LRh et al. Preferred fibres and materials. Market report. 2021. [Internet]. Textile Exchange. 2021: 118 p. Available from: https://textileexchange.org/app/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf (cited 11.06.2025).
32. Rajabinejad H, Buciscanu II, Maier SS. Current approaches for raw wool waste management and unconventional valorization: A review. *Environmental Engineering and Management Journal.* 2019;18(7):1439-1456.
33. Rajkhowa R, Zhou Q, Tsuzuki T, Morton DAV, Wang X. Ultrafine wool powders and their bulk properties. *Powder Technol.* 2012; 224:183-188. doi: 10.1016/j.powtec.2012.02.052
34. Shavandi A, et al. Keratin: dissolution, extraction and biomedical application. *Biomaterials science.* 2017;5(9):1699-1735. doi: 10.1039/c7bm00411g
35. Tonin C, Zoccola M, Aluigi A, Varesano A, Montarsolo A, Vineis C, Zimbardi F. Study on the conversion of wool keratin by steam explosion. *Biomacromolecules.* 2006;7(12):3499-3504. doi: 10.1021/bm060597w
36. Wang D, Tang RC. Dissolution of wool in the choline chloride/oxalic acid deep eutectic solvent. *Mater Lett.* 2018;231:217-220. doi: 10.1016/j.matlet.2018.08.056
37. Wang Y, Liu J, Peters MM, Ishii R, Wang D, Chowdhury S, Parker KK, Shakhnovich EI. Entropy-driven denaturation enables sustainable protein regeneration through rapid gel-solid transition. *Nat Commun.* 2025;16(1):6907. doi: 10.1038/s41467-025-61959-9
38. Xie HB, Li SH, Zhang SB. Ionic liquids as novel solvents for the dissolution and blending of wool keratin fibers. *Green Chem.* 2005;7(8):606-608.
39. Yuldashbayev YA, Dongak MI, Kulikova KA, Pakhomova EV, Abenova ZM, Chylbakool SO, Petrovic MP. The modern state of sheep breeding in Russia (Russia–Serbia). In: 11th International Symposium “Modern trends in livestock production” (October 11-13, 2017, Belgrade, Serbia). Belgrade.

40. Zhang C, Xia L, Zhang J, et al. Utilization of waste wool fibers for fabrication of wool powders and keratin: a review. *Journal of Leather Science and Engineering*. 2020;2(15):5393. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00030-3>

References

1. Aboneev VV, Marchenko VV, Aboneeva EV. Improving the efficiency of scientific support for the current state of sheep farming in Russia. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2019;2:5-9.
2. Amerkhanov KA, Truchatchev VI, Selionova MI. From the history of Russian sheep farming: monograph. Stavropol: IP Mokrinskii NS; 2017:408 p.
3. Basonov OA, Iliadi YuKh, Guseva GS. Wool productivity and quality indicators of wool of the gorki sheep breed in a gene pool farm. *Bulletin of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University*. 2023;3(39):33-38.
4. Trukhachev VI, Erokhin AI, Yuldashbaev YuA, Erokhin SA. Vector of sheep breeding development in the world and Russia. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2023;4:3-9. doi: 10.26897/2074-0840-2023-4-3-9
5. Jurinskaya IM, Otyshchiev MB, Abdykarimov GN. On the processing of semi-coarse and coarse sheep wool using the combed spinning system // *News of higher educational institutions. Textile Industry Technology*. 2015;2(356):51-56.
6. Egorov MB, Lukonina ON, Chernov VV. Sheep and goat breeding in the Russian Federation in figures: a handbook. under the direction of Academician of the RAS Amerkhanov Kh.A. Stavropol; 2024:128 p.
7. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding on farms of the Russian Federation (2024). Moscow: Publishing House of FGBNU VNIIPlem; 2025:311 p.
8. Erochin AI, Karasev EA, Erochin SA State, dynamics and development trends of sheep breeding in the world and in Russia. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2019;3:3-7.
9. Amerkhanov KhA, Razumeev KE, Yuldashbaev YA, Fedorova NE. Domestic sheep breeding, breed and regional features. *Zootechniya*. 2025;11:25-31. doi: 10.25708/ZT.2025.67.83.007
10. Pan LN. Ecology and technological processes of modern methods of processing municipal solid waste // *Resource-saving technologies: express-information*. 2001;9:21-34.
11. Razumeev KE, Trukhachev VI, Balakirev NA, Yuldashbayev YuA. Improving the quality of sheep and fur farming products: monograph. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 2021: 280 p.
12. Razumeev KE, Razumeev VK, Vasileva AK, Kulikova NV, Amerkhanov HA. Pedigree sheep breeding in the Russian Federation: dynamics and trends in the period after 1991. Collection of scientific papers of OOO NPK TsNIISherst. Odintsovo: Publishing house of ANOO VPO OGI; 2013:9-47.
13. Razumeev KE. Current state and dynamics of wool production and processing in the world. *Sheep, Goat, Wool business*. 2018;4:30-33.
14. Rogachev NV. Wool and environmental protection. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2000;4:43-49.
15. Trukhachev VI, Moroz VA. Wool science: textbook. Stavropol: AGRUS; 2012:496 p.
16. Khoruzhy LI, Dzhanhachakova GK, Postnikova LV, Lebedev KA. Formation of a system of analytical monitoring of the sheep production market. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2024;4:35-39. doi: 10.26897/2074-0840-2024-4-35-39
17. Khoruzhiy LI, Dzhanhachakova GK, Postnikova LV, Lebedev KA. The impact of climate change on the economy of sheep farming. *Sheep, Goat, Wool Business*. 2025;2:30-35. doi: 10.26897/2074-0840-2025-2-30-35

18. Chilbak-ool SO, Yldashbayev YA, Dongak MI. On the issue of creation and current state of Tuvan short-fat-tailed sheep breed // Current trends in the development of biological and veterinary science: collection of materials of the international. scientific-practical. conf., (Orenburg, April 20-22, 2017). Orenburg: Publishing center of OSAU; 2018:144-150.
19. Selionova MI, Bobryshova GT, Gadzhiev ZK, Izmailkov SA. Economics of sheep farming: pros and cons. Sheep, Goats, Wool Business. 2017;1:5-9.
20. Cheng YF, Yuen CWM, Li Y, Ku SKA, Kan CW, Hu JY. Characterization of nanoscale wool particles. J Appl Polym Sci. 2007;104(2):803-808. doi: 10.1002/app.25631
21. Chilakamarry CR, et al. Extraction and application of keratin from natural resources: a review. 3 Biotech. 2021;11(5):220. doi: 10.1007/s13205-021-02734-7
22. Eslani N, Dadashian F, Nejad N. An investigation on keratin extraction from wool and feather waste by enzymatic hydrolysis. Preparative Biochemistry and Biotechnology. 2013;43(7):624-648. doi: 10.1080/10826068.2013.763826
23. Fitz-Binder C, Pham T, Bechtold T. A second life for low-grade wool through formation of all-keratin composites in cystine reducing calcium chloride–water–ethanol solution. J Chem Technol Biotechnol. 2019;94(10):3384-92. <https://doi.org/10.1002/jctb.6151>
24. Goyal S, et al. Extraction of keratin from wool and its use as biopolymer in film formation and in electrospinning for composite material processing. Journal of Engineered Fibres and Fabrics. 2022;17(10):15589250221090499. doi: 10.1177/15589250221090499
25. Hassabo AG, Salama M, Mohamed AL, Popescu C. Ultrafine wool and cotton powder and their characteristics. J Nat Fiber. 2015;12(2):141-153.
26. IWTO. [Internet]. Market Information. 19th Edition. Brussels: International Wool Textile Organisation; 2024: 126 p. Available from: <https://www.member.iwto.org/store/viewproduct.aspx?id=24349278> (cited 16.07.2025).
27. Li Y, Xu WL, inventors. Apparatus for producing fine powder. United States Patent 7,000,858 B2. Feb. 21, 2006.
28. Moore KE, et al. Wool deconstruction using a benign eutectic melt. RSC Adv. 2016;6:20095. doi:10.1039/C5RA26516A
29. Morton WE, Hearle JWS. Physical properties of textile fibres. 4th edition. England, Cambridge: Woolhead Publishing LTD; 2008: 775 p.
30. Pakkaner E, Yalcin D, Uysal B, Top A. Self-assembly behavior of the keratose proteins extracted from oxidized Ovis aries wool fibers. Int J Biol Macromol. 2019;125:1008-1015. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.129
31. Pepper LRh et al. Preferred fibres and materials. Market report. 2021. [Internet]. Textile Exchange. 2021: 118 p. Available from: https://textileexchange.org/app/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf (cited 11.06.2025).
32. Rajabinejad H, Buciscanu II, Maier SS. Current approaches for raw wool waste management and unconventional valorization: A review. Environmental Engineering and Management Journal. 2019;18(7):1439-1456.
33. Rajkhowa R, Zhou Q, Tsuzuki T, Morton DAV, Wang X. Ultrafine wool powders and their bulk properties. Powder Technol. 2012; 224:183-188. doi: 10.1016/j.powtec.2012.02.052
34. Shavandi A, et al. Keratin: dissolution, extraction and biomedical application. Biomaterials science. 2017;5(9):1699-1735. doi: 10.1039/c7bm00411g
35. Tonin C, Zoccola M, Aluigi A, Varesano A, Montarsolo A, Vineis C, Zimbardi F. Study on the conversion of wool keratin by steam explosion. Biomacromolecules. 2006;7(12):3499-3504. doi: 10.1021/bm060597w
36. Wang D, Tang RC. Dissolution of wool in the choline chloride/oxalic acid deep eutectic solvent. Mater Lett. 2018;231:217-220. doi: 10.1016/j.matlet.2018.08.056

37. Wang Y, Liu J, Peters MM, Ishii R, Wang D, Chowdhury S, Parker KK, Shakhnovich EI. Entropy-driven denaturation enables sustainable protein regeneration through rapid gel-solid transition. *Nat Commun.* 2025;16(1):6907. doi: 10.1038/s41467-025-61959-9
38. Xie HB, Li SH, Zhang SB. Ionic liquids as novel solvents for the dissolution and blending of wool keratin fibers. *Green Chem.* 2005;7(8):606-608.
39. Yuldashbayev YA, Dongak MI, Kulikova KA, Pakhomova EV, Abenova ZM, Chylbakool SO, Petrovic MP. The modern state of sheep breeding in Russia (Russia–Serbia). In: 11th International Symposium “Modern trends in livestock production” (October 11-13, 2017, Belgrade, Serbia). Belgrade.
40. Zhang C, Xia L, Zhang J, et al. Utilization of waste wool fibers for fabrication of wool powders and keratin: a review. *Journal of Leather Science and Engineering.* 2020;2(15):5393. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00030-3>

Информация об авторах

Константин Эдуардович Разумеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 119071, г. Москва, улица Малая Калужская, 1, к. 1517, моб. тел. +79268687602.

Александр Викторович Медведев, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 119071, г. Москва, улица Малая Калужская, 1, к. 1517, моб. тел.: +79057886735.

Харон Адиевич Амерханов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры частной зоотехнии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Москва, улица Тимирязевская, 51, моб. тел.: +79037258574.

Наталья Евгеньевна Федорова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий, Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 119071, г. Москва, улица Малая Калужская, 1, моб. тел.: +79165394904.

Information about the authors:

Konstantin E Razumeev, Dr Sci. (Technical), Professor, Department of Projection and Art Formation of Textile Goods, A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), 1 Malaya Kaluzhskaya Street, Moscow, 119071, Moscow, Russia, office 1517, mobile phone +79268687602.

Alexander V Medvedev, Dr Sci. (Technical), Leading Researcher, A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), 1 Malaya Kaluzhskaya Street, Moscow, 119071, Moscow, Russia, office 1517, mobile phone +79057886735.

Kharon A Amerkhanov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor of Department of Private Zootechny, Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazev street 51, Moscow, 127434, Moscow, Russia, mobile phone +79037258574.

Natalya E Fedorova, Cand. Sci. (Technical), Associate Professor, Department of Projection and Art Formation of Textile Goods, A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), 1 Malaya Kaluzhskaya Street, Moscow, 119071, Moscow, Russia, mobile phone +79165394904.

Статья поступила в редакцию 25.10.2025; одобрена после рецензирования 05.12.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 25.10.2025; approved after reviewing 05.12.2025; accepted for publication 15.12.2025.