

На правах рукописи



АХВЕРДИЕВ РУСТЕМ ФАХРАДДИНОВИЧ

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КОЖЕВЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ ИЗ РЫБЬИХ ШКУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКА
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ**

2.6.16. Технология производства изделий
текстильной и легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Казань 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный консультант: **Желтухин Виктор Семенович**, доктор физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Раднаева Вера Дашиевна**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», доцент кафедры «Технология кожи, меха. Водные ресурсы и товароведение»;

Фукина Ольга Витальевна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», профессор кафедры «Товарная экспертиза и таможенное дело»;

Гайсин Азат Фивзатович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», профессор кафедры «Физика».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина».

Защита состоится «18» декабря 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.12 созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=556182>.

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, ФГБОУ ВО «КНИТУ», учёному секретарю диссертационного совета 24.2.312.12. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Н.В. Тихонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Спад в объемах выпуска продукции на кожевенных заводах России обусловлен невыгодным ценовым положением по сравнению с зарубежными аналогами. Чтобы поддержать и в дальнейшем укрепить национальную отрасль, а также продвинуть процесс замещения импорта, ключевой задачей становится усиление конкурентных преимуществ кожевенных изделий путем одновременного роста их качества и сокращения издержек. Достичь этого можно только через интеграцию передовых инноваций, опирающихся на последние научные, технические и технологические открытия.

На данный момент создано и применяется множество химических веществ, интегрируемых в материал во время кожевенного процесса, что позволяет придавать коже гидрофильные или гидрофобные характеристики. Эти методы обработки формируют желаемую поверхность натуральной кожи, однако они провоцируют ряд негативных последствий, ухудшающих потребительские свойства конечных продуктов из такого сырья. В частности, используемые реагенты уменьшают способность впитывать влагу, пропускать пар, воздух и влагу, заполняя межволоконные пространства (капилляры и поры), что создает идеальную среду для развития вредных бактерий.

В сфере легкой промышленности товары из натуральных сырьевых ресурсов продолжают пользоваться устойчивым интересом у покупателей. К сегодняшнему дню переполнение рынка иностранной кожаной продукцией значительно сократило долю российских изделий, что создает риски не только для экономики, но и для государственной безопасности в целом. Если эта динамика не изменится, отрасль рискует полностью исчезнуть.

Чтобы переломить ситуацию, требуется внедрение местных кожевенных материалов, способных увеличить объемы продаж, заметно улучшить характеристики товаров, удешевить производство, снизить вред для экологии и разнообразить линейку выпускаемых изделий. Одним из многообещающих подходов служит использование потока низкоэнергетических ионов (ПНЭИ) для модификации кожевенного сырья, что дает возможность изменять его структуру и, следовательно, управлять эксплуатационными и визуальными параметрами натуральных материалов.

Диссертационная работа направлена на решение актуальной проблемы создания технологий производства кожи из рыбьих шкур с применением ПНЭИ, позволяющих за счет модификации сырья, полуфабриката из шкур морских и речных рыб существенно улучшить качество рыбьих кож.

Внедрение обработки ПНЭИ на стадии сырья и хромового полуфабриката из шкур рыб обусловлено тем, что такая модификация позволяет получить готовые кожи с высокими физико – механическими и гигиеническими характеристиками свойств.

Отсюда следует, что необходимо создание технологий получения кож из рыбьего сырья с применением ПНЭИ с заданными свойствами (гидрофильными или гидрофобными), а также с повышенными эксплуатационными свойствами и имеющие аркатурное строение, отличное от шкур млекопитающих с эксклюзивной лицевой поверхностью и неповторимым видом. Кроме этого, сырье из шкур

рыб является отходам производства по изготовлению рыбных консерв. Использование такого дешевого кожевенного сырья позволит сохранить экологию окружающей среды. Такой подход к решению данной проблемы является актуальным для кожевенных предприятий.

Степень разработанности темы

В развитие теории и практики применения ПНЭИ для обработки натуральных полимеров в том числе кожевенных материалов существенный вклад внесли работы российских исследователей В.К. Афанасьева, Б.Л. Горберга, А.И. Максимова, В.Е. Кузьмичева, И.Ш. Абдуллина, Б.Н. Меньшикова, С.Ф. Садовой, А.Б. Гильман, Л.В. Шарниной, Л.Н. Абуталиповой и др. Данное исследование продолжает изыскания в направлении развития теории и практики использования ПНЭИ в производстве натуральных кож. Вопросы регулирования свойств натуральных кож с помощью ПНЭИ высокочастотного емкостного разряда рассмотрено в работах И.Ш. Абдуллина, Г.Р. Рахматуллиной, Г.Н. Кулецова. Однако, существенным отличием кож из рыбьего сырья являются требования, предъявляемые к ним, а именно защита от воздействия влаги, агрессивных сред и термического воздействия, устойчивость к внешним деформирующим и разрушающим воздействиям, повышенная износостойкость, достаточная для обеспечения комфортного микроклимата пододежного и внутриобувного пространства, воздухопроницаемость, паропроницаемость, теплопроводность и гигроскопичность, в связи с этим требуется углубленное исследование воздействия ПНЭИ на натуральные кожи из шкур рыб с целью придания им заданных свойств, таких как гидрофобность, улучшенные физико-механические, гигиенические и антибактериальные характеристики.

Диссертационное исследование проведено в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 гг.» по теме «Разработка технологии управления микроструктурой натуральных материалов легкой промышленности для отраслей экономики РФ (энергетического, строительного, нефтехимического и оборонно-промышленного комплекса)», в рамках проекта № 2196 от 01.02.2014 по теме «Создание научных основ и разработка новых высокоэффективных технологий модификации материалов различной физической природы, включая формирование наноструктур, электрофизическими и электрохимическими методами».

Результаты, представленные в диссертационном исследовании, получены в течение периода с 2013 по 2025гг. по разработке технологии получения кож из шкур рыб с улучшенными физико-механическими, гигиеническими и антибактериальными характеристиками, с применением модифицирования ПНЭИ на стадии сырья и полуфабриката после дубления.

Объект диссертационного исследования. Шкуры морских и пресноводных – речных рыб, полуфабрикатов в сырье и после процесса дубления при получении хромовой кожи.

Предмет диссертационного исследования. Теоретические и практические исследования получения рыбьей кожи с улучшенными физико-механическими и гигиеническими характеристиками свойств путем обработки ПНЭИ.

Соответствие исследования паспорту научной специальности. Диссертация выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 2.6.16 «Технология производства текстильной и легкой промышленности» ВАК Минобрнауки РФ (технические науки) и подпунктами 6, 18, 19, 20, 21.

Цели и задачи исследования

Цель диссертационной работы является создание научно-технологических основ получения кож из шкур рыб по разработанной технологии с улучшенными физико – механическими и гигиеническими характеристиками свойств с помощью обработки потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления с продувом газа.

Для выполнения поставленной цели диссертационной работы решались следующие задачи:

1. Анализ мирового и отечественного рынков кожевенных производств, обувных и галантерейных предприятий показал недостаточность ассортимента выпускаемых кож, их разновидностей, а также качественных характеристик эксплуатационных свойств выпускаемых кожевенных материалов.

2. Обоснование объектов, методов и методик исследования рыбьего сырья и хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб.

3. Исследование влияния модификации потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления с продувом инертного газа аргона натуральных волокнисто-пористых коллагеновых материалов на их физические и механические показатели, состав и микроструктуру.

4. Создание физической и математической моделей взаимодействия потока низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧЕ-разряда пониженного давления с продувом инертного газа аргона с кожевенными натуральными материалами, полученными из шкур морских и речных рыб.

5. Исследование эксплуатационных и гигиенических характеристик свойств, полученных до и после модификации потоком низкоэнергетических ионов капиллярно – пористых кожевенных материалов из шкур рыб.

6. Разработка технологических методик получения кожи из шкур морских и речных рыб обработанных потоком низкоэнергетических ионов.

Научная новизна диссертационного исследования

1. Впервые созданы научно-технологические основы выделки кожи из шкур рыбы с улучшенными физическими и механическими характеристиками свойств за счет обработки их в сырье и хромовом полуфабрикате потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом инертного газа аргона, базирующихся на физико-математической модели взаимодействия потока низкоэнергетических ионов с особым видом капиллярно-пористых материалов. Несмотря на отмеченные отличия от кож млекопитающих за счет специфической аркатурной

структуры, которая влияет на все характеристики кожевенных материалов из сырья рыб, а существенным отличием вследствие этого технологических процессов выделки и отделки кож из рыбьего сырья, а также значительным отличием этих кож из-за существенной разницы в величинах относительной диэлектрической проницаемости от значений диэлектрической проницаемости кож млекопитающих. Такая плазменная обработка приводит к высокой степени упорядоченности структуры, к созданию активных радикалов и функциональных групп без каких-либо деструктивных процессов, позволяющих существенно повысить смачиваемость поверхностного слоя (п.20 паспорта специальности 2.6.16).

2. Определены механизмы модификации рыбьей кожи с использованием ПНЭИ в следующем диапазоне: $P=13,3-26,6$ Па, $G=0,02-0,04$ г/с, $W_p=0,3-2,00$ кВт, $\tau=30-360$ секунд, энергия ионов составляет $W_i=50-70$ Эв, а плотность ионного тока $j=0.5-1.5$ А/м². Этой энергии ионов при вышеуказанных плотностях ионного тока достаточно для повышения упорядоченности структуры за счет конформационных превращений, расщепления волокон, изменения пористости, повышения равномерности свойств. Впервые установлен единый механизм обработки кожевенных материалов из сырья морских и речных рыб, заключающийся в воздействии на поверхность потока низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧЕ-разряда пониженного давления с продувом инертного газа аргона, а в объеме капиллярно-пористой аркатурной структуры за счет процессов рекомбинации в несомостоятельных разрядах, формируемых в порах и межволоконных пространствах (п.21 паспорта специальности 2.6.16).

3. Впервые за счет плазменной объемной модификации капиллярно-пористых кожевенных материалов аркатурной структуры из шкур речных и морских рыб достигнуто улучшение физических, механических характеристик свойств, структуры и длительной сохранности эффекта модификации во времени (п.19 паспорта специальности 2.6.16).

4. Установлено, что для модификации капиллярно-пористых кожевенных материалов из сырья как морских, так и речных рыб применяется один и тот же плазмообразующий газ – аргон, позволяющий повысить смачиваемость кож из рыбьего сырья. Несмотря на то, что по своим физическим свойствам, характеризуется существенным отличием их относительных диэлектрических проницаемостей, что переводит их в отдельный подкласс диэлектриков. (п.6 паспорта специальности 2.6.16).

5. Впервые установлено, что вторичная обработка готовых хромовых полуфабрикатов из шкур морских и речных рыб позволяет повысить прочность на 20% по сравнению с кожевенными материалами после первой обработки ПНЭИ (п.19 паспорта специальности 2.6.16).

6. Разработаны и рекомендованы технологии получения рыбьих кож из шкур морских и речных рыб с использованием ПНЭИ с целью создания прочных, ярких, неповторимых кож для обувной и галантерейной промышленности (п.18 паспорта специальности 2.6.16).

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования

1. Установлены параметры воздействия потока низкоэнергетических ионов, при которых происходит наиболее существенное изменение физических, механических характеристик кожевенных капиллярно - пористых материалов с аркатурным строением:

1.1. Для сырья из морских и речных рыб давление в камере $P=26,6$ Па, расход газа $G=0,04$ г/с, продолжительность обработки $\tau=3$ минуты, частота разряда $f=13.56$ МГц, плазмообразующий газ аргон.

1.2. Вышеуказанные параметры одинаковы для морских и речных рыб, изменяется только мощность разряда.

2. Выбранные режимы обработки ПНЭИ исследуемых материалов позволили увеличить показатели характеристик свойств сырья и полуфабриката из шкур морских и речных рыб:

- для сырья морских рыб: $W_p=1,55$ кВт,
- для полуфабриката после дубления морских рыб: $W_p=1,60$ кВт,
- для сырья речных рыб: $W_p=1,80$ кВт;
- для полуфабриката после хромового дубления речных рыб: $W_p=1,85$ кВт.

2.1. В подготовительных процессах производства кож из шкур морской рыбы содержание влаги в дерме уже через 4 часа процесса отмоки устанавливается, более чем 65%, температура сваривания после отмоки, зольения и пикелевания снижается на 10% при сравнении с образцом без модификации, что необходимо для подготовки полуфабриката к процессу дубления, температура сваривания хромового полуфабриката после дубления из шкур морских рыб возрастает от 10% до 15% по сравнению с не модифицированной кожей из сырья рыб.

2.2. Для речных рыб, после процесса отмоки содержание влаги в модифицированных шкурах речных рыб повышается на 15%, а температура сваривания снижается. В цепочке подготовительных процессов: отмока, зольение, пикелевание на 6%, 8%, 25%, что свидетельствует о лучшем разделении микроструктуры дермы после воздействия ПНЭИ.

Для речных рыб: температура сваривания хромового полуфабриката после дубления увеличивается в цепочке щука, судак, сом, сазан на 6%, 12%, 9%, 7%. И при этом повышаются показатели гигроскопичности от 11% до 24% и влагоотдачи от 7% до 14%.

Прочностные характеристики хромового полуфабриката из шкур речных рыб в ряду сазан, судак, сом, щука изменяются в сторону увеличения соответственно на 27%-22%-31%-26%.

2.3. Для морских рыб обработка ПНЭИ сырья в зависимости от вида рыб улучшение гигиенических свойств: увеличивает их гигроскопичность от 8% до 37% и влагоотдачу от 12% до 16%.

Пористость модифицированных образцов возросла от 14% до 25%.

Прочностные показатели повысились от 10% до 28% в зависимости от вида рыб, относительно полуфабрикатов, не обработанных ПНЭИ.

2.4. Установлено влияние ПНЭИ на хромовый полуфабрикат из шкур речных и морских рыб перед процессом отделки, т.е. красильно-жировальными процессами. Доказано, что обработка ПНЭИ хромового полуфабриката позволяет:

- сократить продолжительность процесса крашения в 2 раза;
- уменьшить концентрацию дорогостоящего красителя на 25 – 30%;
- получить яркий, интенсивный, однородный окрас лицевой поверхности

кожи.

3. Изучение микроструктуры дермы полуфабрикатов из шкур морских и речных рыб под воздействием ПНЭИ после всех основных технологических процессов производства кожи: отмока, зольение, пикелование, показало, что происходит разделение структуры дермы, но аркатурный слой сохраняется на всех исследуемых образцах, что способствует увеличению эксплуатационных свойств кожи.

4. Установлено, что воздействие ПНЭИ на состав дермы кожи из шкур морских и речных рыб не оказывает существенных изменений химического состава кожи. ИК-спектры показали наличие функциональных групп коллагена амид, А, В, I, II, III, однако происходит повышение термостабильности.

При этом, такая модификация способствует уменьшению потери массы образца от температуры воздействия, что связано с уплотнением структурных элементов дермы, что также приводит к увеличению прочности от 26% до 50%.

5. Установлено, что эффект модификации ПНЭИ хромового полуфабриката из рыбных шкур сохраняется длительное время, до трех месяцев.

6. Определено влияние ПНЭИ на процесс крашения хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб (м. и р. р.)

6.1. Установлено, что обработка ПНЭИ хромового полуфабриката для кожи морских рыб с мощностью разряда 1,6 кВт, позволяет увеличить пористость от 5% до 25%.

6.2. Для кожи из шкур речных рыб происходит усреднение размеров пор (малые возрастают в диаметре на 42%, большие уменьшаются на 50%) в результате обработки ПНЭИ $W_p=1,85$ кВт, что способствует получению упорядоченной структуры дермы кожи рыб.

6.3. Прочностные характеристики кожи после процесса дубления перед крашением, обработанная ПНЭИ существенно изменяются:

- из шкур речных рыб прочность увеличивается от 11% до 48% ($W_i = 1,85$ кВт)

- из шкур морских рыб предел прочности при растяжении растет от 9% до 34%, относительное удлинение повышается от 11% до 33% ($W_p = 1,60$ кВт).

6.4. Установлено, что в процессе крашения, выбираемость красителя из красильной ванны повышается у кож, после воздействия ПНЭИ у кожи из шкур м.р. на 18%-20% больше, чем у кожи необработанной ПНЭИ, у кож из шкур речных рыб на 10% - 20% больше.

6.5. Показано, что обработка ПНЭИ хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб способствует быстрому поглощению красителя, что сокращает продолжительность времени крашения в 2 раза и одновременно увели-

чивает выбираемость красителя из рабочей ванны, что экономит расход дорогостоящего красителя и снижает себестоимость кож.

7. Показано, что рыбы кожи, модифицированные ПНЭИ грибостойки к плесневым грибам. Такая обработка позволяет получить чистые, стойкие к плесени кожи.

8. Разработаны технологии для выделки хромовых кож из шкур морских и речных рыб с высокими гигиеническими и прочностными характеристиками с применением обработки ПНЭИ как на стадии сырья, так и на стадии хромового полуфабриката после дубления.

9. Разработана технология получения кож как из шкур речных так и из морских рыб с ослабленной кожаной тканью. Применение аминсмола крбамидо-формальдегидной модифицированной изопропиловым спиртом и ПНЭИ позволило получить прочные кожи, что дает возможность (расширить) увеличить количество кожевенного сырья. Результаты диссертационной работы по получению кож из шкур морских и речных рыб внедрены на ООО «Первый меховой» в городе Георгиевске и на ООО «Ялкын» в городе Казани с суммарным годовым экономическим эффектом 10910144 руб.

Методология и методы исследования

При выполнении работы применяли современные методы исследования: комплекс диагностической аппаратуры и приборов для определения параметров и их контроля в ВЧ-разрядах и плазменной струе, а также в слое положительного заряда. Для исследования характеристик капиллярно-пористых волокнистых материалов сырье и полуфабрикаты шкур речных и морских рыб использовались как стандартные, так и разработанные в работе методы, а также высокотехнологичные методы: инфракрасная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Оптимизация режимов воздействия ПНЭИ в плазме ВЧЕ-разрядов пониженного давления применялся метод многофакторного планирования эксперимента и статистического метода обработки результатов экспериментов с использованием пакета программ Statistica 10.0. При создании молекулярно-динамической модели воздействия ПНЭИ на капиллярно-пористые волокнистые материалы использовалась программа расчета на основе уравнений математической модели. Результаты диссертационной работы сравнивались и сопоставлялись с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Положения выносимые на защиту

1. Научно-технологические основы получения кожи из рыбьего сырья с улучшенными физическими и механическими характеристиками свойств за счет обработки их потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа аргон, базирующихся на физико-математической модели воздействия потока низкоэнергетических ионов с волокнистыми капиллярно – пористыми кожевенными материалами, имеющими аркатурное строение и существенным отличием относительных диэлектрических постоянных от кож млекопитающих.

2. Результаты комплексных исследований физических и механических характеристик свойств кожевенных материалов из шкур морских и речных при воздействии на них потока низкоэнергетических ионов инертного газа аргона,

который позволил установить единый механизм обработки, а именно создание активных радикалов, функциональных групп с содержанием кислорода и ОН-группы, упорядочивания структуры за счет конформационных изменений без деструктивных изменений и приводящих к существенному повышению гидрофильности, позволяющей качественно проводить все жидкостные технологические процессы выделки кож из шкур морских рыб и речных рыб.

3. Результаты экспериментальных исследований состава и структуры капиллярно – пористых волокнистых кожевенных материалов аркатурной структуры при воздействии на них потока низкоэнергетических ионов, позволившие подтвердить, что данная обработка приводит к упорядочиванию структуры, формированию гидроксильных групп за счет внедрения ионов плазмы в поверхностный слой и как следствие формирования свободных радикалов, которые и образуют гидроксильные группы. Именно захороненные слои частиц из плазмы обеспечивают сохранение описанных эффектов не менее чем три месяца для всех капиллярно – пористых волокнистых кожевенных материалов с аркатурной структурой и с особыми диэлектрическими параметрами.

4. Результаты получения кожевенных материалов из шкур морских и речных рыб с наибольшими прочностными и гигиеническими характеристиками за счет объемной модификации капиллярно – пористых кожевенных материалов, имеющих аркатурное строение, реализуемой формированием в порах и межволоконном пространстве самостоятельных разрядов.

5. Результаты исследования, полученных хромовых кож из шкур морских и речных рыб, подвергнутых воздействию потока низкоэнергетических ионов, показывающее, что за счет увеличения их гидрофильности существенно возрастает выбираемость красителя из рабочей ванны, что позволяет уменьшить расход красителя, продолжительность процесса крашения, и значительно снизить себестоимость выпускаемых кож.

6. Результаты экспериментальных исследований воздействия потока низкоэнергетических ионов на готовые хромовые кожи из шкур морских и речных рыб перед процессом крашения, позволяют дополнительно повысить прочностные характеристики рыбьей кожи от 11% до 40%.

7. Технологические рекомендации создания экологичных высокоэффективных технологий и схем получения кожи из шкур морских и речных рыб с улучшенным физическо-химическими и механическими характеристиками свойств за счет модификации потоком низкоэнергетических ионов кожевенных материалов аркатурного строения для производства изделий обувной и галантерейной промышленности.

Достоверность достигнутых результатов и сделанных выводов подтверждается применением передовых исследовательских подходов, интегрированных со стандартными и специализированными методиками оценки параметров и качеств капиллярно-пористых волокнистых кожевенных материалов с аркатурной структурой, взаимной корреляцией полученных данных, а также их количественным и качественным сопоставлением с теоретическими и эмпирическими данными, представленными в работах других ученых.

Апробация результатов работы.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: VI Международная научно-практическая конференции студентов и

молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности», Казань (2010), VIII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современных наук – 2012», Польша (2012), VII Международная конференция Физика плазмы и плазменные технологии, Минск (2012), Материалы Научной сессии КГТУ. Казань (2013), Материалы Научной сессии КНИТУ. Казань (2014), LIV международная научно-практическая конференция «Технические науки - от теории к практике», Новосибирск (2016), II международный научно-практический семинар «Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства» г. Киев (2016), Материалы VII-ой Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань (2016), Материалы VIII-ой Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности». Казань (2017), III международный научно-практический семинар «Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства». Сборник тезисов. г. Киев (2017), XIII международная науч.-практическая конференции «Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование», Улан-Удэ (2017), XIV Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности», Казань (2018), X Юбилейная международная научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», Казань (2018), XV Международная научно-практическая конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности», Казань (2019), Всероссийская научно-практическая конференция «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, изделий и услуг», Новочеркасск (2019), Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Белоруссия, Витебск (2019), XVI международная научно-практическая конференции «Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование», Улан-Удэ (2020), Всероссийская (с международным участием) конференция «Физика низкотемпературной плазмы», Казань (2020), XVII Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности», Казань (2021), II Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур», GDP NANO Казань (2021), Всероссийская научная конференция «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» с международным участием Казань (2021), Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий. I Всероссийская конференция с международным участием, Казань (2023), Новые технологии и материалы легкой промышленности: XX Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых, Казань (2024), IV Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез нано-структур», Казань (2023), X Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии, Иваново (2024).

Основные результаты работы изложены в 77 публикациях, в том числе в 25 статьях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналах

и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 4 публикациях в научных журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus / Web of Science, 2 патентах РФ и 46 – в материалах конференций различного уровня.

Личный вклад автора заключается в формулировке проблемы, определении направления и способов исследования, достижению, анализе, обобщении и объяснении полученных результатов. Работа представляет обобщение исследований автора в области воздействия потока низкоэнергетических ионов на кожную ткань капиллярно - пористых волокнистых материалов, применяемых для обувных и галантерейных изделий, а также создания кожи из шкур морских и пресноводных-речных рыб с улучшенными физическими и механическими характеристиками свойств. Представленные в диссертации результаты являются личными исследованиями автора, его опубликованных трудов, и опубликованных в соавторстве.

Структура и объем работы. Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает в себя: введение, 6 глав, заключение, список литературы из 264 наименований и представлена на 328 страницах машинописного текста и приложений.

Выражаю искреннюю благодарность и признательность профессору д.т.н. Абдуллину И.Ш., д.т.н. Рахматуллиной Г.Р., к.т.н. Тихоновой В.П., к.т.н. Низамовой Д.К. за помощь в проведении экспериментальных и теоретических исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность темы диссертационной работы, определены цели и намечены задачи для их достижения, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, основные положения, выносимые на защиту, и представлена структура диссертации.

В первой главе установлены перспективы и потенциал инновационных технологий, способствующих улучшению гигиенических, прочностных и эстетических характеристик кожи, изготовленной из шкур речных и морских рыб. Рассмотрены традиционные методы обработки, а также методики с использованием модификации шкур потоком низкоэнергетических ионов, что позволило определить цель и ключевые задачи исследования.

Кожа из шкур рыб имеет особенности строения, отличающие ее от кожи, изготовленной из шкур млекопитающих. В коже рыб структурообразующим элементом дермы является глубокий слой, в котором наблюдается плотный массив соединительных тканей, представляющих собой горизонтальные волнообразные слои пучков коллагеновых волокон, которые прошиваются пучками в вертикальном направлении. Этот слой имеет аркатурное строение, продольные и поперечные пучки коллагеновых волокон формируют дугообразный свод, поддерживаемый колоннами. В отличие от слабо ориентированной трехмерной сетки, как у млекопитающих, каркас дермы рыб образует строго ориентированную по трем взаимно перпендикулярных направлениях сеть. Почка млекопитающих — главный орган осморегуляции, выделяющий разбавленную (гипотоническую) мочу при избытке воды и концентрированную — при её дефиците. У рыб эту роль играют жабры, содержащие ионоциты — клетки, регулирующие содержание соли. У пресноводных рыб ионоциты поглощают ионы Na^+ из воды,

а у морских — выводят их наружу. Осмотическое давление в теле рыб отличается от давления окружающей среды: у пресноводных оно выше, у морских — ниже. Пресноводные рыбы, живущие в гипотонической среде, сохраняют соли в теле, выделяя много разбавленной мочи. Морские рыбы, находясь в гипертонической среде, теряют воду через кожу, жабры и мочу, поэтому пьют морскую воду, которая всасывается через желудок и кишечник, а избыток соли удаляется через кишечник и жабры. Эти различия приводят к тому, что свойства кож рыб существенно отличаются не только от кожи млекопитающих, но и даже друг от друга.

Для определения возможности плазменной обработки кожи рыб выполнены предварительные теоретические исследования с помощью разработанной математической модели.

Во второй главе выполнены теоретические исследования с помощью математической модели взаимодействия ПНЭИ с кожей рыб. В основе моделирования процессов, происходящих при взаимодействии плазмы высокочастотного емкостного разряда пониженного давления с материалами, лежит разработанная ранее И.Ш. Абдуллиным¹ физическая модель, устанавливающая, что образец материала в плазме высокочастотного разряда пониженного давления становится дополнительным электродом, а у его поверхности образуется слой положительного заряда (СПЗ). Ионы плазмы, ускоряясь в электрическом поле слоя положительных зарядов до энергии 50-100 эВ, бомбардируют поверхность, и рекомбинируют на ней с выделением энергии рекомбинации (15.76 эВ при обработке в среде аргона). Кинетическая энергия (50-100 эВ) передается молекулам коллагена кожи, приводя к их деструкции. Отметим, что при значении ионного тока 0,5-1,5 А/м² поток ионов, поступающий на поверхность образца, не превышает 10 ион/нм². В силу малости потока ионов и быстрого спадания кинетической энергии иона по мере продвижения его вглубь материала, обработка поверхности является щадящей, затрагивает лишь небольшой приповерхностный слой.

Обработка пористых материалов отличается от обработки сплошных материалов возможностью проведения объемной обработки. Так как обрабатываемый материал размещается в плазме, а не на поверхности одного из ВЧ-электродов, то СПЗ с разных сторон образца, и соответственно, их потенциалы $\varphi_s(\omega t, \mathbf{x}_1), \varphi_s(\omega t, \mathbf{x}_2)$ колеблются в противофазе друг с другом. Здесь $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ — координаты точек на противоположных поверхностях.

Вследствие этого внутри материала возникает динамически изменяющаяся с частотой колебаний СПЗ разность потенциалов $\Delta V_{p,обp}(\omega t, \mathbf{x}) = \varphi_s^{(1)}(\omega t, \mathbf{x}_1) - \varphi_s^{(2)}(\omega t, \mathbf{x}_2) = 80 \div 100$ В. Здесь $\mathbf{x}$ — координаты точки внутри образца на прямой, соединяющей точки $\mathbf{x}_1$ и $\mathbf{x}_2$.

Это означает, что внутри пористого образца во время ВЧ-плазменной обработки существует электрическое поле

$$\mathbf{E}_{sp}(\omega t, \mathbf{x}) \approx \frac{2\Delta V_{p,обp}(\omega t, \mathbf{x})}{\varepsilon_{обp} h_{обp}} \left(\frac{\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2}{|\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|} \right), \quad (1)$$

¹ Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С. Кашапов Н.Ф. Высоочастотная плазменно-струйная обработка материалов: Теория и эксперимент. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 2000. 348 с.

где $\varepsilon_{\text{обр}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость материала, $h_{\text{обр}} = |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|$. При толщине кожи рыб $h_{\text{обр}} = 0,2 \div 0,3$ мм амплитуда поля $E_{sp,a} \sim 10^4 \div 10^5$ В/м.

Коллаген относится к полярным диэлектрикам, поэтому он поляризуется в поле $\mathbf{E}_{sp}(\omega t, \mathbf{x})$, а на внутренней поверхности пор формируется связанный электрический заряд,

$$\sigma'(\omega t, \mathbf{r}_p) = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_{\text{обр}} - 1)\mathbf{E}_{sp}(\omega t, \mathbf{r}_p) \cdot \mathbf{n}_p}{\varepsilon_{\text{обр}}}. \quad (2)$$

Здесь ε_0 – электрическая постоянная, $\mathbf{r}_p$ – точка на поверхности поры, $\mathbf{n}_p$ – нормаль к поверхности поры. Так как поверхностные заряды на противоположных стенках пора создают в ней локальное электрическое поле

$$\mathbf{E}_{\text{св}}(\omega t, \mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum \frac{\sigma'(\omega t, \mathbf{r}_p) \hat{\mathbf{r}}_p}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_p|^2}, \quad (3)$$

где $\mathbf{r}$ – точка внутри поры, $\hat{\mathbf{r}}_p = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_p)/|\mathbf{r} - \mathbf{r}_p|$ – единичный вектор, в направлении от точки $\mathbf{r}$ к точке $\mathbf{r}_p$. Из формул (1)-(3) видно, что напряженность локального электрического поля в поре зависит от относительной диэлектрической проницаемости материала, которая разная у различных видов рыб, а также существенно отличается от кожи млекопитающих.

Из формулы (3) видно, что $\mathbf{E}_{\text{св}}(\omega t, \mathbf{r})$ внутри капиллярно-пористого тела, неоднородно, максимальное значение $E_{\text{св}}(\omega t) = \max_{\mathbf{r}} |\mathbf{E}_{\text{св}}(\omega t, \mathbf{r})|$ достигается у поверхности поры, в окрестности точки $\mathbf{r}_p$. Предварительные расчеты показали, что возле стенок пор $\max_{\omega t} E_{\text{св}}(\omega t) \sim 10^9 \div 10^{10}$ В/м.

При таких значениях напряженности локального электрического поля становится возможным процесс автоэлектронной эмиссии электронов с последующим их ускорением и движением их к противоположной стороне поры. Попадая на противоположную сторону поры, электроны возбуждают электронное состояние поверхностных атомов, что способствует электронно-стимулированной десорбции ионов.

На основе физической модели создана математическая модель, которая описывает движение заряженных частиц в объеме поры. Модель включает в себя уравнения (1)-(3) и систему уравнений Ньютона для поступательного движения электронов и ионов

$$\frac{d\mathbf{v}_e}{dt} = -\frac{e\mathbf{E}}{m_e}, \quad \frac{d\mathbf{r}_e}{dt} = \mathbf{v}_e, \quad (4)$$

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \frac{e\mathbf{E}}{m_i}, \quad \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \mathbf{v}_i. \quad (5)$$

Здесь $\mathbf{v}_e, \mathbf{r}_e$ – скорость и радиус-вектор электрона, $\mathbf{v}_i, \mathbf{r}_i$ – скорость и радиус-вектор иона, m_e, m_i – массы электрона и иона, соответственно. В начальный момент времени задаются положение частиц и их скорости

$$\mathbf{v}_e(0) = \mathbf{v}_e^0, \quad \mathbf{r}_e(0) = \mathbf{r}_e^0, \quad (6)$$

$$\mathbf{v}_i(0) = \mathbf{v}_i^0, \quad \mathbf{r}_i(0) = \mathbf{r}_i^0. \quad (7)$$

Расчеты траекторий и энергий электронов и ионов показали, что частицы, эмиттированные с одной поверхности поры, достигают противоположной поверхности, и приобретают энергию 6-9 эВ. При такой энергии, с учетом высокой напряженности электрического поля у поверхности поры и энергии рекомбина-

ции электронов и ионов, свободный электрон, эмиттированный в результате автоэлектронной эмиссии, способен, достигнув противоположной поверхности поры, инициировать электронно-стимулированную десорбцию (ЭСД) ионов. А десорбированный ион, ускорившись в локальном электрическом поле и попав на противоположную сторону поры, вызывает вторичную ионно-электронную эмиссию. Таким, образом в течение полупериода колебаний СПЗ происходит каскад процессов эмиссии (автоэлектронной и вторичной) электронов с одной поверхности поры, и ЭСД ионов с другой. В течение следующего полупериода направление процессов меняется на противоположное. Описанное явление представляет собой электрический пробой пористого объема, или частичный разряд.

В четвертой главе экспериментально установлено, что относительная диэлектрическая проницаемость кожи рыб в 2-3 раза меньше, чем значение $\epsilon_{обр}$ у кожи из шкур млекопитающих. В соответствии с формулами (1), (2), при одинаковых параметрах режима ВЧЕ-плазменной обработки, и одинаковой толщине образца кожи, напряженность электрического поля и плотность связанного заряда на поверхности пор в коже из шкуры рыб в 2-3 раза выше, чем значения $E_{св}$ и σ' в коже из шкур млекопитающих. Соответственно, напряженность локального электрического поля $E_{св}$ и энергии заряженных частиц, появившихся в порах при эмиссии электронов и ЭСД ионов, также больше в 2-3 раза. Поэтому режимы ВЧЕ-обработки кожи из шкур рыб должны быть менее интенсивными, чем режимы обработки кожи из шкур млекопитающих.

В результате расчетов теоретически показано, что при ВЧЕ-плазменной обработке кожи из шкур рыб, создаются условия для модификации внутренней поверхности пор и капилляров. Расчеты показали, что заряженные частицы, возникающие в частичных разрядах, приобретают энергию, достаточную для реализации процессов упорядочивания структуры, приводящих к повышению физико-механических свойств, интенсификации жидкостных процессов и улучшении эксплуатационных характеристик кож из шкур рыб, механизмы модификации рыбьей кожи с использованием потока низкоэнергетических ионов (ПНЭИ) в следующем диапазоне: $P=13,3-26,6$ Па, $G=0,02-0,04$ г/с, $W_p=0,3-2,00$ кВт, $\tau=30-360$ секунд, энергия ионов составляет $W_i=50-70$ Эв, а плотность ионного тока $j=0.5-1.5$ А/м².

Однако, режимы обработки кожи морских и речных рыб должны отличаться от режимов обработки шкур млекопитающих, не только за счет показателя коэффициента диэлектрической проницаемости и аркатурного строения, но и за счет различной осморегуляции, в связи с чем необходимо проведение комплекса экспериментальных исследований воздействия ВЧ плазмы пониженного давления на кожу рыб, с целью разработки высокоэффективных технологический выделки и отделки шкур морских и пресноводных-речных рыб.

В третьей главе содержатся характеристики объектов исследования, обосновывается значимость выбора кож полученных из морских (лосось, кета, семга, горбуша, форель, треска, камбала) и пресноводных-речных рыб (сом, судак, сазан, щука).

Представлены высокочастотные плазменные установки и их описание, методика проведения экспериментов по взаимодействию потока низкоэнергети-

ческих ионов с кожей шкур рыб. Диапазон изменения характеристик оборудования: $W_p=0.1-1.8$ кВт, $G_{Ar}=0.04$ г/с, $P=26$ Па, $f=13,56$ МГц, $\tau=1-10$ мин.

Описаны и обоснованы методы и методики определения параметров кожной ткани из шкур рыб, начиная с сырья и полуфабрикатов рыбных шкур до хромовой кожи их состава и структуры.

Представлены результаты статистической обработки данных экспериментов по взаимодействию потока низкоэнергетических ионов с кожной тканью рыбных шкур.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния ПНЭИ на всех стадиях выделки кожи из шкур рыб, направленные на улучшение качества хромовых кож из шкур рыб. Проведено комплексное исследование физико-механических характеристик свойств кожевенного сырья, полученного из шкур морских и речных рыб. Исследованы их состав и структура, а так же устойчивость эффекта воздействия ПНЭИ на исследуемые материалы. Экспериментально установлено, что принципиальным отличием от характеристик свойств кожи млекопитающих является значение диэлектрической проницаемости, например контрольный образец семги – 3.89, а опытный - 3.69, контрольный образец щуки – 3.11, а опытный - 2.99, контрольный образец сазана - 5.62, а опытный – 4.24, овчина – 7.275, КРС – 11.625. Рассматривается кожевенное сырьё, подвергнутое консервированию методом мокросоления.

Для выявления возможности влияния ПНЭИ на физические характеристики свойств дермы шкур морских и речных рыб осуществляли варьирование режимов воздействия ПНЭИ для данных видов кожевенного сырья. Режимы обработки ПНЭИ: $G_{ap}=0,04$ г/с, $P=26,6$ Па, W_p варьировалось от 0,10 до 1,80 кВт, а τ от 1 до 3 минут.

Установлено влияние ПНЭИ на характеристики кожной ткани рыб при проведении подготовительных процессов выделки кожи: с увеличением мощности разряда ПНЭИ до процесса отмоки содержание влаги уменьшается, а температура сваривания увеличивается, а после отмоки происходит обратный процесс t-сваривания уменьшается, а содержание влаги увеличивается.

Температура сваривания дермы в сырье у речных рыб значительно выше (от 5°C и до 19°C), что связано во многом со средой обитания и различной осморегуляцией. При этом воздействии соленой воды так или иначе разрушает поперечные связи в белке шкур рыб и ухудшает упорядоченность структуры шкуры морских рыб и как следствие происходит уменьшение температуры сваривания.

С целью установления оптимальных условий модификации сырья из шкур морских и речных рыб проведена статистическая обработка экспериментальных данных, на примере образцов горбуши и судака. Методика включала оценку адекватности полученных уравнений регрессии и степени корреляционной зависимости между экспериментальными и расчетными значениями.

Установлены режимы для модификации сырья перед подготовительными процессами: для шкур морских рыб: $W_p = 1,55$ кВт, $G_{ar} = 0,04$ г/с, $P = 26,6$ Па, $\tau = 3$ минуты; для шкур речных рыб: $W_p = 1,80$ кВт, $G_{ar} = 0,04$ г/с, $P = 26,6$ Па, $\tau = 3$ минуты.

Анализ показателей температуры сваривания хромового полуфабриката из сырья морских и речных рыб, подтверждает влияние плазмы на структуриро-

вание дермы, что в конечном итоге увеличивает связывание хромовых комплексов с активными центрами белка, что и повышает температуру сваривания кожи. Кожа, обработанная ПНЭИ имеет температуру сваривания на 11-14% выше, чем кожа без обработки плазмой, что способствует повышению прочности кожи и ее эксплуатационных характеристик свойств и составляют от 74 до 99°C.

Установлено, что предел прочности при растяжении у полуфабриката из шкур морских рыб увеличился от 10% до 28% и составил от 9 до 36 МПа в зависимости от вида рыб, удлинение, характеризующее эластичность повысилось от 10 до 33%; Модифицированный полуфабрикат из шкур речных рыб повысил прочность от 22% до 31% и составил от 18% до 47% в зависимости от вида рыб (судак, щука, сазан, сом).

Обработка ПНЭИ оказывает положительное влияние на гигиенические характеристики свойств хромового полуфабриката кожи рыб. В частности, гигроскопичность исследуемых образцов увеличивается до 37%, а влагоотдача — до 15% по сравнению с образцами, не подвергавшимися плазменной модификации.

Модификация кожевенного полуфабриката из шкур морских рыб ПНЭИ сопровождается увеличением пористости и объема пор. По сравнению с контрольными образцами значения объема пор возрастают в среднем на 10–25 %, а показатель общей пористости — на 15–30 %, что улучшает воздухо- и влагообмен, повышая гигиенические свойства материала. После воздействия ПНЭИ в полуфабрикате хромового дубления шкур речных рыб диаметр малых пор возрастает на 42%, а диаметр больших пор снижается на 50%, что свидетельствует о повышении однородности пористости по всем топографическим участкам кожи речных рыб.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что обработка ПНЭИ оказывает выраженное положительное влияние на физико-механические характеристики свойств хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб. Для установления структурных изменений, проведены исследования микроструктуры на всех стадиях выделки.

При рассмотрении микроструктуры контрольного и опытных образцов на срезе кеты, обработанных ПНЭИ, с мощностью разряда 1,55 кВт можно увидеть аркатурное строение дермы, а также четкое разделение слоев. Установлено, что при модификации ПНЭИ сырья происходит удаление влаги из дермы, что приводит к уменьшению толщины шкуры. Шкура кеты, модифицированная плазмой, имеет четкую структуру на срезе в отличие от контрольного образца, но разделение слоев и аркатурное строение дермы сохранены.

На рисунках 1 и 2 показана микроструктура срезов голья шкуры кеты после процесса золения опытного образца, обработанного ПНЭИ с $W_p=1,55\text{ кВт}$, время обработки $\tau=3$ минуты и контрольного образца без обработки плазмой. Разделение структуры сильнее произошло в опытном образце, обработанным ПНЭИ, чем в контрольном, что подтверждается снижением температуры сваривания: 40 и 44 °C, то есть модифицированный образец имеет t сваривания на 4°C ниже, чем в контрольном, а следовательно, и разрыхление коллагеновых волокон в этом образце происходит эффективнее.

Таким образом исследование структуры дермы хромовых полуфабрикатов из модифицированных ПНЭИ шкур морских и пресноводных рыб показало,

что микроструктура дермы кож имеет четкую, упорядоченную и разделенную структуру дермы с сохранением аркатурного слоя, без признаков натурального жира.

Результаты ИК-анализа, полученные для контрольных и ПНЭИ-модифицированных образцов кожи из шкур рыб, показали, что отсутствуют различия в характере полос пропускания. Это указывает на стабильность химической структуры материала и подтверждает, что обработка ПНЭИ не вызывает заметных изменений в молекулярной организации дермы шкуры рыб.

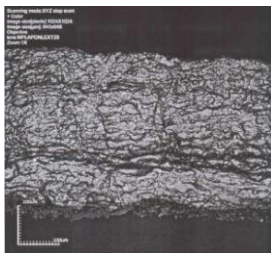


Рисунок 1 - Микроструктура среза контрольного образца шкуры кеты после процесса золенин (увеличение в 20 раз)

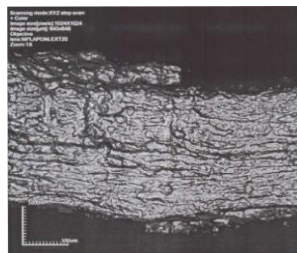


Рисунок 2 - Микроструктура среза голяя шкуры кеты, обработанного ПНЭИ с $W_p=1,55\text{kVt}$ после процесса золенин (увеличение в 20 раз)

Результаты термического анализа ТГА и ДСК показали, что процессы разложения исследуемых образцов полуфабрикатов имеют общий характер: для всех проб зафиксированы два ярко выраженных экзотермических пика, соответствующие температурным значениям порядка 337°C и 413°C , что отражает этапы термодеструкции органических компонентов. Вместе с тем диапазоны температур, в которых происходят эти процессы, варьируются в зависимости от вида сырья, однако, независимо от этого обработка ПНЭИ способствует уменьшению потери массы от температурного воздействия, в частности уменьшение потери массы для морской рыбы лосось: опытный образец 95 %, контрольный 98 %, для речной рыбы сазан: опытный образец 92 %, контрольный 94%.

Исследована устойчивость полученного эффекта обработки ПНЭИ кожи рыб в течение длительного времени. Установлено, что уже в первые сутки пролежки температура сваривания возрастает на $7\text{--}11^\circ\text{C}$. В течение последующих шести дней фиксируется дополнительное повышение ещё на $3\text{--}4^\circ\text{C}$, что обусловлено связыванием остаточного дубителя с активными центрами белка дермы. После этого значения температуры стабилизируются. Таким образом, эффект, сформированный на подготовительных стадиях, закрепляется процессом дубления и сохраняется в течение не менее трёх месяцев.

В пятой главе представлены результаты исследования влияния потока низкоэнергетических ионов на характеристики дермы кожи из шкур морских и речных рыб в красильно – жировальных и отделочных процессах и операциях. Определены намокаемость дермы кож, гидрофильность и гидрофобность поверхности по краевому углу смачивания, выбираемость красителя, пористость дермы, объем пор, прочностные характеристики. Оптимальные режимы модификации кожи из шкур морских и речных рыб определены с помощью программы Statistica 10.0. Изучены структура и химический состав дермы кожи морских и речных рыб с помощью электронной микроскопии, ИК-спектрометрии, рентгеноструктурного анализа.

Установлено, что оптимальными режимами обработки хромовой кожи из шкур речных и морских рыб являются: плазмобразующий газ – Аргон, давление в камере $= 26,6$ Па, расход газа $= 0,04$ г/с, продолжительность обработки $- 3$ мин, для морских рыб мощность разряда $= 1,60$ кВт, для речных рыб мощность разряда $= 1,85$ кВт, при которых характеристики полуфабриката из шкур рыб улучшаются, в частности, снижается краевой угол смачивания, от 42% до 30% для речных в зависимости от вида рыбы и от 33% до 26% для морских видов рыб по сравнению с контрольными образцами, что обусловлено особенностями строения и средой обитания. Кожа рыб обладает меньшей намокаемостью по сравнению с кожей КРС, что связано с аркатурной структурой дермы рыбьей кожи, в отличие от дермы КРС, которая характеризуется сложным переплетением пучков коллагеновых волокон с замкнутыми петлями, а также разные значения коэффициента диэлектрической проницаемости позволяют отнести шкуру рыб к другому классу диэлектриков.

Исходя из представленных данных следует, что оптимальным режимом обработки ПНЭИ хромового полуфабриката из шкур речных рыб является режим с мощностью разряда $W_p = 1,85$ кВт, продолжительностью 3 мин, а для хромового полуфабриката из шкур морских рыб с мощностью разряда $W_p = 1,60$ кВт, продолжительностью 3 мин.

Показано, что обработка ПНЭИ хромовой кожи из рыбьих шкур способствует созданию гидрофильной поверхности, необходимой перед красильно-жировальными процессами отделки. Для хромовой кожи из шкур морских рыб намокаемость увеличилась на $20-40\%$. Для хромовой кожи из шкур речных рыб - увеличилась на $44-80\%$. Показатели намокаемости коррелируют с результатами определения краевого угла смачивания.

Анализ показателей объема пор дермы кож из шкур морских рыб позволил установить, что усреднённый объем пор дермы образцов, модифицированных ПНЭИ увеличивается в сравнении с контрольными образцами. Общая пористость образцов кож морских рыб показывает, увеличение этого показателя у образцов кожи из шкур морских рыб, модифицированных ПНЭИ при сравнении с образцами без обработки плазмой и составляет от $5,6\%$ до 20% .

После воздействия ПНЭИ в полуфабрикате хромового дубления речных рыб диаметр малых пор возрастает на 42% , а диаметр больших пор снижается на 50% . Это свидетельствует о повышении однородности пористости по всем топографическим участкам кожи речных рыб. Это позволяет обеспечить равномерную и более эффективную выбираемость красителя и проводить процесс крашения на высоком качественном уровне, получая кожу с ярким, сочным красивым окрасом.

Определены механические характеристики по пределу прочности и относительному удлинению при растяжении хромовой кожи из рыбьей шкуры под влиянием оптимального режима ПНЭИ: для кожи из шкур морских рыб предел прочности увеличивается от 9% до 44% , относительное удлинение от 11% до 33% , для кожи из шкур речных рыб предел прочности увеличивается от 11% до 48% , относительное удлинение от 4% до 20% .

Такое изменение связано с воздействием ПНЭИ, которое создает упорядоченную усреднено-пористую структуру дермы кожи рыб, σ_p кожи речных рыб несколько больше, чем у морских рыб, что связано с их средой обитания.

Дальнейшие исследования хромовых полуфабрикатов из шкур речных и морских рыб, модифицированных ПНЭИ ($W_p = 1,85$ кВт и $W_p = 1,60$ кВт) и без обработки плазмой проводились в красильно-жировальных процессах. В качестве критерия плазменного воздействия на протекание процесса барабанного крашения хромового

полуфабриката из шкур речных и морских рыб определена выбираемость (η) красителя из рабочей ванны ($\lambda=435$ нм). Для кожи из шкур речных рыб выбираемость составила от 63 % до 74 %. Для кожи из шкур морских рыб выбираемость составила от 65 % до 78 %. Применение плазмы позволит сократить расход красителя, снизить себестоимость выпускаемого материала и сократить производственный цикл.

Анализ фотографий микросрезов дермы шкур камбалы на рисунке 3 показывает, что обработка плазмой позволяет получить четкую однородно разделенную структуру дермы кожи, что положительно сказывается на последующих процессах производства кожи, в частности на красильно-жировальных процессах.

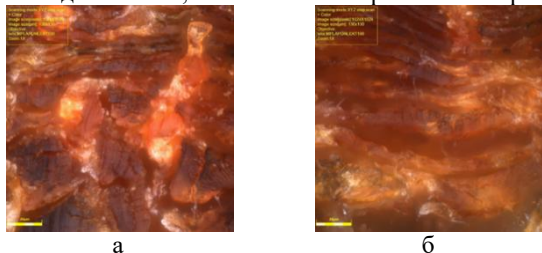


Рисунок 3 – Микрофотографии поперечного среза дермы хромового полуфабриката из шкур камбалы после процесса крашения (а - контрольный, б – опытный, увеличение $\times 20$)

Плазменная модификация хромового полуфабриката из шкур камбалы оказала существенное влияние на ровность, интенсивность, окраса кожи по всей площади дермы, поскольку модифицированный полуфабрикат, имея более пористую структуру выбрал красителя больше, чем контрольный образец за одно и тоже время процесса крашения, применение ПНЭИ способствует четкому разделению структурных элементов дермы с сохранением аркатурного строения.

Для изучения химического состава до и после воздействия ПНЭИ получены ИК-спектры дермы кожи из шкуры сазана до и после обработки ПНЭИ (где ось ординат – поглощение (%), ось абсцисс – волновые числа (см^{-1}) (рис. 5).

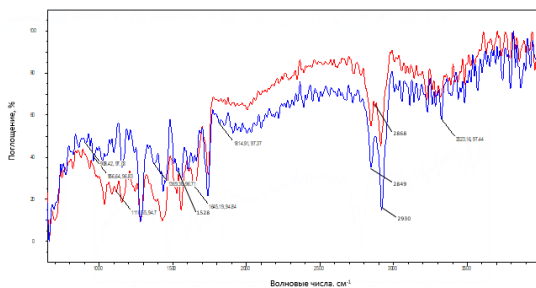


Рисунок 4 - ИК-спектр дермы хромовой кожи из шкуры сазана до и после плазменной обработки (синий – опытный образец, красный – контрольный образец)

На ИК-спектре после плазменной обработки при волновом числе 1369 см^{-1} имеет интенсивность пика увеличенную.

Аналогично интенсивнее стала полоса при 1111 см^{-1} -амины, 1728 см^{-1} (она на рис. не отмечена, но рост есть), ответственная за карбонилы -C=O . Кроме того появилась новая полоса при волновом числе 1814 см^{-1} , соответствующая ангидридам карбоновых кислот O=C-O-C=O .

Более интенсивными стали полосы, отвечающие за сильные валентные колебания ассоциированных ОН-групп, связанных водородной связью и ОН группы в области $2930\text{-}3323 \text{ см}^{-1}$.

На ИК-спектре дермы хромовой кожи из шкуры трески до и после плазменной обработки, увеличилась интенсивность NH-групп 2381 см^{-1} , 1800 см^{-1} отвечающая за группу C=O .

Все указанные группы являются полярными. Их появление или увеличение интенсивности приводит к изменению электрических характеристик материала, что влияет на все параметры кож из рыбьего сырья и что необходимо учитывать при обработке технологического процесса отделки кожи.

Установлено влияние обработки ПНЭИ на структуру дермы кожи речных и морских рыб.

Плазменная обработка дермы кожи трески способствует повышению упорядоченности аморфной фазы и плотности структуры, что подтверждается дифрактограммами и коррелирует с ростом прочностных характеристик свойств. Анализ полученных данных и закономерностей показал существенное отличие полученных результатов от воздействия ПНЭИ на кожу млекопитающих, а именно: температура сваривания у кожи рыб ниже, чем у млекопитающих, что объясняется аркатурным строением дермы кожи рыб, существенным отличием значения относительной диэлектрической проницаемости от $\epsilon_{обр}$ млекопитающих, что позволяет утверждать, что кожа рыб относится к другому подклассу диэлектриков.

Проведен анализ на наличие грибостойких свойств у образцов кожи из шкур морских и речных рыб, модифицированных плазмой. Анализ грибостойкости проводили по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 9.048-89, где образцы материалов считаются грибостойкими, если степень роста грибов на них не превышает 2-х баллов. Продолжительность инкубации составляла 24 суток с промежуточным осмотром через 10 суток и окончательным - через 24 суток. Образцами служили кожи из шкур рыб после хромового дубления и жирования (контрольный образец) и хромовый полуфабрикат шкур рыб, модифицированный ПНЭИ (опытный образец). Полученные результаты представлены на рисунках - 5 и 6.

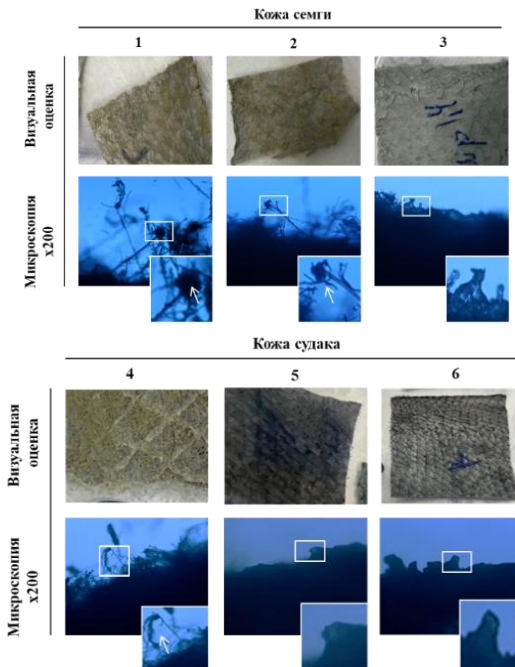


Рисунок 5 – Наличие роста грибов на коже семги при визуальной оценке и с помощью световой микроскопии при увеличении $\times 200$

Семга: образец 1 - полуфабрикат хромового дубления, виден рост мицелия грибов и активное спороношение; образец 2 - кожа, обработанная плазмой газ-воздух, виден рост мицелия грибов и активное спороношение; образец 3 - кожа семги, обработанная плазмой – газ-аргон, рост грибов отсутствует.

Рисунок 6 – Наличие роста грибов на коже судака при визуальной оценке и с помощью световой микроскопии при увеличении $\times 200$

Судак: образец 4 - полуфабрикат хромового дубления, виден рост мицелия грибов и активное спороношение; образец 5 - кожа, обработанная плазмообразующим газом-аргон и смолой КФС-ИПС, рост грибов отсутствует; образец 6 - кожа с обработкой ПНЭИ и КФС-ИПС

Анализируя полученные результаты по грибостойкости кожи рыб, можно отметить, что обработка шкур ПНЭИ и смолой КФС-ИПС существенно повышает сопротивляемость их к грибам микромицетам. В данном случае показан еще один механизм регулирования биостойкости материалов, что дает нам возможность создавать материалы, способные сопротивляться воздействию микроорганизмов.

Таким образом можно сделать вывод о грибостойкости исследуемого материала хромовой кожи из шкур речных и морских рыб. Применение обработки рыбьих шкур ПНЭИ позволяет получить чистые кожи, стойкие к плесени в течение длительного времени.

В шестой главе представлены система научно-технологических положений и технологические рекомендации по производству кож из шкур морских и речных рыб. Показаны особенности и подходы к переработке сырья из шкур рыб в кожу хромового дубления с использованием ПНЭИ для получения прочных с неповторимым рисунком. Показаны методики для получения кож из ослабленных шкур как морских, так и речных рыб.

Разработана система научно-технологических положений на базе физической и метаматематической моделей.

В результате созданы научно-технологические основы получения кож хромового дубления из сырья морских и речных рыб с повышенными эксплуатационными, гигиеническими и противогрибковыми свойствами в результате обработки ПНЭИ. Такая плазменная обработка представляет физическую модификацию, которая перераспределяет микро и макроструктуру кожи и как результат происходит улучшение прочностных, механических, гигиенических характеристик происходит существенное улучшение смачиваемости за счет воздействия ПНЭИ аргона на поверхность кожи.

Применение ПНЭИ открывает путь к созданию нового технологического способа обработки, в котором заданные эксплуатационные характеристики свойств формируются за счёт целенаправленного влияния на структуру коллагенового каркаса исходного сырья.

Для получения кож из сырья морских и речных рыб разработали процессы, которые необходимы для реализации технологической цепочки выделки. Для рыбьего сырья необходим процесс обезжиривания с применением ПАВ, затем сгонка чешуи и подсушка. Перед обработкой сырья ПНЭИ в шкуре рыбы должно быть не более 40% влаги. После модификации шкуры рыб поступают в подвесной барабан, где проводятся все подготовительные процессы перед хромовым дублением. Особенности отличия от классической методики выделки кожи из шкур млекопитающих является следующее: обработка ПНЭИ в сырье при меньших значениях W_i и j_s , чем у млекопитающих, заниженная температура при проведении процессов, сокращенная продолжительность основных подготовительных процессов: отмока, золение, пикелевание, для сырья из морских рыб при золении сокращается концентрация щелочных реагентов: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в 3 раза и Na_2S в 15 раз, процесс пикелевания, необходимый перед хромовым дублением для создания определенной кислотности голяя проводится с помощью алюминиевых квасцов и HCOOH .

Для создания красивого окраса хромового полуфабриката (вет-блю) проводится красильно-жировальных процессов в подвесных барабанах. С целью экономии дорогостоящих красителей, сокращения продолжительности процесса крашения и получения интенсивного оригинального окраса применяем обработку ПНЭИ хромового полуфабриката перед процессом додубливания. В результате обработки плазмой в гидрофильном режиме происходит сокращение продолжительности отделки и

получения яркоокрашенной кожи с хорошей выбираемостью красителей из рабочей ванны до 80% по сравнению с контрольными до 60%.

Для приведения полученной кожи в товарный вид необходимо провести качественное закрепление лицевой поверхности с помощью водорастворимых лаков с целью сохранения ее от внешних воздействий, что также обеспечивает воздействие ПНЭИ в гидрофильном режиме.

Готовая кожа проходит операцию разбивки для придания мягкости, эластичности и приятного ощущения ее на ощупь.

Разработанная технология выделки обеспечивает сохранение природного рельефа лицевой поверхности, а применение различных вариантов окраски за счет модификации кожи из рыбьего сырья позволяет подчеркнуть естественную красоту, оригинальность и экзотическую привлекательность полученного материала.

На рисунке 7 представлена схема технологической последовательности процессов получения кожи из шкур морских рыб, на рисунке 8 представлена схема технологических процессов производства кож из шкур речных рыб до получения краста, прошедшего красильно-жировальные процессы.

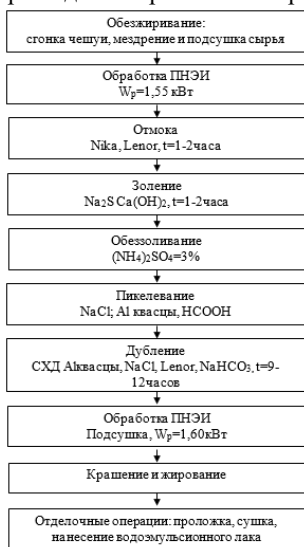


Рисунок 7 - Схема технологической последовательности процессов получения кожи из шкур морских рыб

Таким образом, разработаны технологии производства кож из сырья морских и речных рыб с повышенными эксплуатационными, гигиеническими и противогрибковыми характеристиками свойств в результате обработки ПНЭИ на этапах сырья, хромового полуфабриката плазмообразующим газом аргонном. Для кож из шкур морских рыб: на стадии сырья – $G = 0,04$ г/с, $P=26,6$ Па, $\tau = 3$ мин., $f = 13,56$ МГц, $W_p = 1,55$ кВт; на стадии хромового полуфабриката - $W_p = 1,60$ кВт. Для кож из шкур речных рыб: на стадии сырья – $G = 0,04$ г/с, $P=26,6$ Па, $\tau = 3$ мин., $f = 13,56$ МГц, $W_p = 1,80$ кВт; на стадии хромового полуфабриката - $W_p = 1,85$ кВт.

Для расширения сырьевой базы кожевенного производства необходимо обеспечить упрочнение шкур рыб с пониженной прочностью дермы на ранних этапах переработки, начиная с процесса отмоки. Представленная технология, основан-

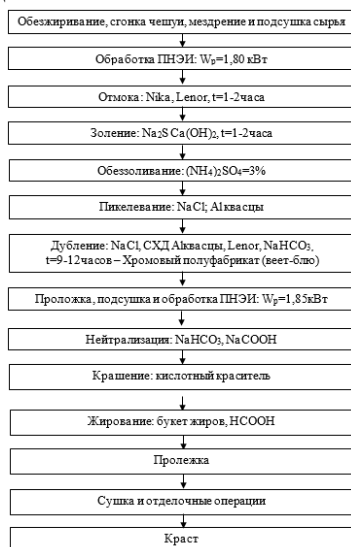


Рисунок 8 - Схема технологических процессов производства кож из шкур речных рыб до получения краста

ная на применении аминсмолы КФС-ИПС, предлагает эффективное решение данной задачи.

В результате выполненных исследований разработаны технологические схемы получения кожи из ШР горбуши и судака с использованием аминсмолы КФС-ИПС на этапе отмоки.

КФС-ИПС – смола, разработанная и синтезированная на кафедре ПТНИП в КНИТУ (г. Казань) и позволяющая повысить прочностные свойства кожи за счет легкого додубливающего и наполняющего эффекта ослабленной дермы исследуемого материала.

Предложено для ослабленного сырья морских рыб использовать аминсмолу КФС-ИПС в количестве 0,5 % от массы шкур; для ослабленного сырья речных рыб брать аминсмолу КФС-ИПС в количестве 0,3 % от массы шкур.

Установлено, что применение аминсмолы КФС-ИПС и ПНЭИ в технологии производства кож из ослабленных шкур горбуши и судака существенно повышает прочность хромового полуфабриката и увеличивает $T_{свар.}$ после процесса дублирования: для горбуши – на 20 °С, для судака – на 15 °С.

Применение рекомендованной технологии с использованием обработки ПНЭИ позволяет сократить продолжительность всего технологического процесса до готовой кожи, снизить расход дорогостоящих химических реагентов в среднем на 13%, а также повысить физико-механические свойства в среднем на 28% и гигиенические характеристики свойств в среднем на 37% выпущенного материала. Затраты, связанные с покупкой плазменной установки, ее обслуживания, расходов на электроэнергию, оплату труда оператора в течении года окупаются за счет увеличения выпуска кож из шкур речных рыб в 2 раза, что связано с уменьшением продолжительности технологических процессов 1,5 – 2,5 раза.

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях ООО «Первый меховой» в городе Георгиевске и на ООО «Ялкын» в городе Казани дают годовой суммарный экономический эффект 10910144 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны научно-технологические основы получения кож из рыбьего сырья с высокими эксплуатационными и эстетическими характеристиками свойств, устойчивыми к плесневым грибкам за счет модификации ПНЭИ сырья и хромового полуфабриката.

2. Разработаны физическая и математическая модели модификации потоком низкоэнергетических ионов сырья и хромового полуфабриката из шкур речных и морских рыб имеющих аркатурное строение и существенно отличающиеся от кожи млекопитающих относительной диэлектрической проницаемостью, с целью получения кож с повышенными физико-механическими и гигиеническими характеристиками, устойчивыми к биодеструкции.

3. Экспериментально доказано, что модифицирование ПНЭИ исходного сырья и полуфабриката ведет к морфологическим изменениям надмолекулярных структур коллагена имеющих аркатурное строение, которое приводит к разделению фибрилл и волокон в сырье, разделению волокон и пучков в дубленном полуфабрикате при сохранении аркатурного строения. В результате этого по всем топографическим участкам происходит усреднение диаметров пор и увеличение пористости на 11,5%-22,7%, что позволяет интенсифицировать жидкостные процессы и сократить их продолжительность в отмоке до 2-4 часов; в зольении до 1 часа, и как результат возможность получить хромовый полуфабрикат за сутки.

4. Установлены оптимальные режимы модификации ПНЭИ сырья и хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб: плазмообразующий газ – аргон, давление в камере 26,6 Па, расход газа – 0,04 г/с, время обработки – 3 мин., для морских рыб в сырье $W_p=1,55$ кВт, для речных рыб в сырье $W_p=1,80$ кВт. В хромовом полуфабрикате: для м.р. $W_p=1,60$ кВт, для р.р. в сырье $W_p=1,85$ кВт;

Такое различие мощностей разряда для сырья из шкур морских и речных рыб, связано с местом их обитания.

5. Определено, что обработка исходного сырья рыбных шкур ПНЭИ сокращает процесс отмоки до 2-4 часов, процесс зольения до 1 часа, процесс дубления на 3 часа, что связано с разделением структуры за счет разрушения части межпучковых связей и удаления межволоконных растворимых белков (альбумина, глобулина). В результате содержание влаги в дерме модифицированных образцов за короткое время увеличивается на 8-10%; температура сваривания снижается на 10%-12%, что говорит о разделении структуры и подготовке кожевенного материала к процессу дубления, после которого, температура сваривания возрастает на 10%-15%. При этом хромовый полуфабрикат имеет повышение предела прочности при растяжении на 10,3-27,0%, относительного удлинения на 23,6%-33,3% в зависимости от вида рыб.

6. Установлено, что модификация хромового полуфабриката ПНЭИ рыбных шкур перед процессом крашения способствует созданию гидрофильной поверхности. При этом намокаемость для хромового полуфабриката перед крашением для шкур м.р. увеличивается на 20%-40%, а для р.р. на 44%-60%.

7. Показано, что обработка ПНЭИ хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб перед процессом крашения способствует значительной выбираемости красителя из рабочей ванны, которая составляет 65%-78%, а у контрольного образца 58%-62%. Отсюда следует, что обработка плазмой позволит сократить расход красителя, снизить себестоимость кожевенного материала, сократить производственный цикл и увеличить объем обрабатываемого сырья.

8. Проведенные исследования дермы хромовой кожи из шкур морских и речных рыб методом РСА показали улучшение структуры за счет упорядочивания ее аморфной фазы и уплотнения структуры элементов дермы, что подтверждается увеличением прочности кож из шкур речных рыб на 11%-48%, для морских – на 9%-44%.

9. Установлена устойчивость эффекта модификации ПНЭИ хромового полуфабриката из шкур морских и речных рыб в течении 3-х месяцев.

10. Установлено, что обработка ПНЭИ на состав белка рыбных кож не влияет, так как пептидные цепи коллагена не изменились, что показывает сохранение основного химического состава белка.

11. Установлено, что хромовая кожа из шкур речных и морских рыб устойчива к плесневым грибам после обработки ПНЭИ с помощью газа аргон, что позволяет получить чистые, стойкие кожи к плесени.

12. Созданы технологии производства кож из шкур морских и речных рыб с годовым экономическим эффектом более 10 млн. руб.

Результаты диссертационных исследований по получению кожи из шкур МР и РР с применением ПНЭИ открывают перспективы расширения ассортимента кожевенных волокнисто-пористых материалов, которые широко используются в галантерейной, обувной и в легкой промышленности.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации:

Статьи в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России:

1. **Ахвердиев, Р.Ф.** Плазмообработка кож из шкур рыб в процессе выделки как инструмент повышения их фунгистойкости / **Р.Ф. Ахвердиев** // Костюмология. - 2024. - Т. 9. - № 1. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL124.pdf>.
2. **Ахвердиев, Р.Ф.** Прочностные характеристики кожи из шкур млекопитающих и рыбы, модифицированных высококачественной плазмой / **Р.Ф. Ахвердиев** // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2023. -Т. 64. - № 6. - С. 27-30.
3. **Ахвердиев, Р.Ф.** Сравнительная характеристика изменения структуры дермы КРС, овчины и семги под воздействием плазмы / **Р.Ф. Ахвердиев** // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2023. - Т. 64 - № 6. - С. 39-43.
4. Низамова, Д.К. Исследование влияния плазменной обработки на термостабильность дермы шкур лосося / Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2022. - № 1 (397). - С. 187-191.
5. **Ахвердиев, Р.Ф.** Кожі нового поколения из шкур рыб / **Р.Ф. Ахвердиев** // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2022. - № 5 (401). - С. 108-112.
6. **Ахвердиев, Р.Ф.** Разработка технологии производства эксклюзивной кожи из шкур камбалы с заданными свойствами / **Р.Ф. Ахвердиев.** // Костюмология. - 2022. - Т. 7. - № 1. <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL122.pdf>.
7. Низамова, Д.К. Исследование влияния наночастиц серебра и неравновесной низкотемпературной плазмы на качество кож из шкур лосося / Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Дизайн. Материалы. Технология. - 2021. - № 4 (64). - С. 70-74.
8. Бигеева, К.Р. Влияние аминомодифицированной смолы на структуру дермы шкур горбуши / К.Р. Бигеева, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2021. - Т. 51. - № 1. - С. 92-94.
9. Бигеева, К.Р. Влияние аминомодифицированной смолы и неравновесной низкотемпературной плазмы на структуру дермы шкур горбуши / К.Р. Бигеева, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2021. - Т. 54. - № 4. - С. 50-52.
10. Рязанцева, Е.Ю. Производство кожи из шкур судака с улучшенными свойствами / Е.Ю. Рязанцева, Г.Р. Рахматуллина, Ф.С. Шарифуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова. // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2020. - Т. 48. - № 2. - С. 47-50.
11. Тихонова, В.П. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на отменно-зольные процессы производства кожи из шкур кеты / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, А. Баширова // Вестник Технологического университета. - 2017. - Т. 20. - № 16. - С. 51-53.
12. Тихонова, В.П. Разработка технологии производства кожи из шкур сазана и судака с использованием ННТП / В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, А.С. Матвеев // Вестник Технологического университета. - 2016. - Т. 19. - № 18. - С. 110-112.
13. Рахматуллина, Г.Р. Физико-механические свойства натуральной кожи из шкур лососевых рыб с применением неравновесной низкотемпературной плазмы / Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова // Вестник Технологического университета. - 2016. - Т. 19. - № 22. - С. 91-92.
14. Рахматуллина, Г.Р. Технология производства кожи из шкур форели с использованием неравновесной низкотемпературной плазмы / Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова. – Текст: непосредственный // Вестник Технологического университета. - 2016. - Т. 19. - № 22. - С. 97-99.

15. Рахматуллина, Г.Р. Изучение возможности получения кожи из шкур рыб с заданными параметрами свойств на стадии отмоки / Г.Р. Рахматуллина, И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, О.В. Матвеева // Вестник Технологического университета. - 2016. - Т. 19. - № 3. - С. 86-88.

16. Рахматуллина, Г.Р. Влияние различных химических материалов в процессе зольения шкур горбуши с применением неравновесной низкотемпературной плазмы на структуру дермы / Г.Р. Рахматуллина, И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, О.В. Матвеева // Вестник Технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 1. - С. 226-227.

17. **Ахвердиев, Р.Ф.** Исследование влияния плазменной обработки на подготовительные процессы производства кожи из шкур лососевых рыб / **Р.Ф. Ахвердиев**, И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, О.В. Артемьева, А.О. Фадеев // Кожевенно-обувная промышленность. - 2014. - № 1. - С. 28-30.

18. **Ахвердиев, Р.Ф.** Исследование влияния плазменной обработки на подготовительные процессы производства кожи из шкур лососевых рыб / **Р.Ф. Ахвердиев**, И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, О.В. Артемьева, А.О. Фадеев // Кожевенно-обувная промышленность. - 2014. - № 2. - С. 30-32.

19. Абдуллин, И.Ш. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на структуру дермы полуфабриката из шкур речных рыб: сазана и судака / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, О.В. Артемьева, Д.К. Низамова // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17. - № 1. - С. 75-77.

20. Абдуллин, И.Ш. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на структуру шкуры щуки в подготовительных процессах производства кожи / И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.М. Фадеев // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16 - № 23. - С. 19-21.

21. Абдуллин, И.Ш. Выбор режима плазменной обработки шкур речных рыб перед подготовительными процессами производства кожи / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, О.В. Артемьева, А.О. Фадеев // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16 - № 8. - С. 56-58.

22. Абдуллин, И.Ш. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на изменение температуры сваривания разных видов и способов консервирования кожевенного сырья / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Р. Рахматуллина, Р.Н. Резванов // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - № 20. - С. 21-23.

23. Абдуллин, И.Ш. Исследование влияния неравновесной низкотемпературной плазмы на гидрофильность дермы шкур трески и горбуши / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Р. Рахматуллина, Г.Н. Хабарова // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - № 20. - С. 24-26.

24. Абдуллин, И.Ш. Статистический анализ связи температуры сваривания голяя с выплавляемостью желатина и физико-механическими характеристиками полуфабриката и готовой кожи / И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, А.И. Мухаметзянова // Кожевенно-обувная промышленность. - 2011. - № 4. - С. 22-24.

25. Рахматуллина, Г.Р. Исследование влияния ННТП на обводненность и температуру сваривания шкур горбуши / Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, И.Ш. Абдуллин, Д.К. Низамова, О.В. Матвеева, **Р.Ф. Ахвердиев** // Вестник Казанского технологического университета, Казань. - 2014. - №24. - С.289-291.

Статьи в журналах, индексируемых в международной базе цитирования Scopus

26. **Akhverdiev, R.F.** Application of non-equilibrium low-temperature plasma for skin modification of marine and river fish skins / **R.F. Akhverdiev**, V.S. Zheltukhin, G.R. Rakhmatullina, V.P. Tikhonova, D.K. Nizamova // High Energy Chemistry. - 2024. - Т. 58. - № S3. - С. S296-S298.

27. **Akhverdiev, R.F.** Modification of pike skin dermis microstructure by non-equilibrium low-temperature plasma / **R.F. Akhverdiev**, V.S. Zheltukhin, G.R. Rakhmatullina, V.P. Tikhonova, D.K. Nizamova // High Energy Chemistry. - 2024. - Т. 58. - № S3. - С. S299-S302.

28. **Akhverdiev, R.F.** Influence of plasma modification on operational properties of natural origin fiber structure materials / **R.F. Akhverdiev**, V.S. Zheltukhin, G.R. Rakhmatullina, V.P. Tikhonova, D.K. Nizamova, L.V. Chapaeva // High Energy Chemistry. - 2024. - Т. 58. - № S3. - С. S303-S307.

29. Nikitina, L.E. Development of Novel Effective Agents Against Candida albicans Biofilms / L.E. Nikitina, S.A. Lisovskaya, V.A. Startseva, R.S. Pavelyev, I.R. Gilfanov, L.V. Fedyunina, **R.F. Akhverdiev**, O.V. Ostolopovskaya. // BioNanoScience. 2019. - Т.9. - №3. - С.539-544.

Патенты, свидетельства

30. Патент № 2806225 Российская Федерация, МПК С1. Способ упрочнения дермы шкуры речной рыбы судака: № 2023110376 заявлено 24.04.2023: опубликовано 30.10.2023 / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, А.В. Островская, И.И. Латфуллин, **Р.Ф. Ахвердиев** - 6 с.: ил.

31. Патент № 2717449 Российская Федерация, МПК С1. Способ отмоки сырья из шкур горбуши: № 2019124753 заявлено 01.08.2019: опубликовано 23.03.2020 / Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, К.Р. Муқанжанова, А.В. Островская, И.И. Латфуллин - 8 с.: ил.

Статьи в журналах, включенных в ядро РИНЦ:

32. Rakhmatullina, G.R. Physical processes in capillary-porous material and coating in HF plasma at decreased pressure / G.R. Rakhmatullina, D.K. Nizamova, E.A. Pankova, E.Yu. Ryazantseva, **R.F. Akhverdiev**, V.P. Tikhonova, M.F. Shaekhov // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings. 2019. - С. 012065.

33. Vishnevskaya, O.V. Research of the influence of a hydrocarbon coating on the operational stability of membrane fabric / O.V. Vishnevskaya, E.F. Voznesensky, V.V. Vishnevsky, M.F. Shaekhov, D.K. Nizamova, **R.F. Akhverdiev**, N.V. Tikhonova, L.Y. Mahotkina // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. XI Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma during the Deposition of Functional Coatings. Bristol. - 2020. - С. 012006.

34. Rakhmatullina, G.R. Hydrophilization of the surface of a natural hydrophobic material by non-equilibrium low-temperature plasma / G.R. Rakhmatullina, V.P. Tikhonova, D.K. Nizamova, **R.F. Akhverdiev**, K.F. Bigeyeva // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. -2, 2022. - С. 012050.

Статьи в материалах конференций и других научных изданиях

35. Рахматуллина, Г.Р. Физические процессы в капиллярно-пористом материале и покрытии в ВЧ - плазме пониженного давления / Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Е.Ю. Рязанцева, В.П. Тихонова, М.Ф. Шаехов // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. - 2019. - Т. 1. - № 10. - С. 299-302.

36. Федюнина, И.В. Новые перспективные противогрибковые композиции на основе природных монотерпеноидов / И.В. Федюнина, Л.Е. Никитина, С.А. Лисовская, В.А. Старцева, О.Т. Шипина, **Р.Ф. Ахвердиев**, О.В. Остолоповская // Вестник технологического университета. - 2019. - Т. 22. - № 2. - С. 33-336.

37. Рахматуллина, Г.Р. Повышение прочности кожи из шкур речных рыб / Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, А.С. Матвеев // Инновации в науке. - 2016. - № 7 (56). - С. 127-133.

38. Рахматуллина, Г.Р. Разработка технологии производства кожи из шкур горбуши / Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, А.С. Матвеев // *Universum: технические науки*. - 2016. - № 7 (28). - С. 11.

39. Abdullin, I.Sh. Nanostructural modification of capillary-porous materials, light industry / I.Sh. Abdullin, G.R. Rakhmayullina, V.P. Tihonova, **R.F. Akhverdiev** // *Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Aktualne problemy nowoczesnych nauk»*, - Przemysł. - 2012. - С.16-19.

40. Abdullin, I.Sh. The mathematical justification for plasma modification of capillary-porous materials / I.Sh. Abdullin, V.P. Tihonova, **R.F. Akhverdiev** // VII Международной конференции Физика плазмы и плазменные технологии. - Минск. - 2012. - С.550-553.

41. **Ахвердиев, Р.Ф.** Изменение структуры дермы рыбьей кожи модифицированной плазмой в процессе выделки / **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова, В.С. Желтухин // В книге: X Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии. Сборник трудов. – Иваново- 2024. - С. 104.

42. **Ахвердиев, Р.Ф.** Рециклинг рыбьей кожи / **Р.Ф. Ахвердиев**, В.С. Желтухин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова // В сборнике: Наукоемкие технологии как драйвер развития аграрных производств и пищевых систем. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 105-летию со дня основания ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА имени К.И. Скрябина. – Москва. - 2024. - С. 146-149.

43. Тихонова, В.П. Влияние потока низкоэнергетических ионов на эксплуатационные свойства кожи из шкур семги / В.П. Тихонова, М. Графский, Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев** // В сборнике: Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2024). материалы II Всероссийской конференции с международным участием. – Казань. - 2024. - С. 173-174.

44. Тихонова, В.П. Получение кожи из шкур речных рыб с повышенной прочностью / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, **Ахвердиев Р.Ф** // В сборнике: Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности. Материалы II Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием. – Казань. - 2024. - С. 207-210.

45. **Ахвердиев, Р.Ф.** Разработка технологий производства кож из шкур рыб с применением плазменной модификации / **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова // В сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. Материалы юбилейной XX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. - 2024. - С. 220-222.

46. **Ахвердиев, Р.Ф.** Особенности влияния ПНЭИ на структуру кожевенного материала из шкур сазана / **Р.Ф. Ахвердиев**, В.С. Желтухин, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова // В сборнике: Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти выдающегося советского ученого Н.В. Чернова. – Москва. - 2024. - С. 26-30.

47. Тихонова, В.П. Модификация композиционного материала потоком низкоэнергетических ионов / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова // В сборнике: Актуальные проблемы науки о полимерах. Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов. – Казань. - 2024. - С. 478-480.

48. Тихонова, В.П. Влияние плазменной модификации пергамента на эксплуатационные свойства / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, А.А. Чеботарев, **Р.Ф. Ахвердиев** // В сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. – Казань. - 2023. - С. 265-267.

49. Тихонова, В.П. Влияние неравновесной низкотемпературной плазмы на структуру пергамента из шкур различных животных / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, А.А. Чеботарев, **Р.Ф. Ахвердиев** // В сборнике: Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2023). Материалы I Всероссийской конференции с международным участием. Под редакцией В.А. Сысоева [и др.]. – Казань. – 2023. – С. 86-91.

50. Нагоев, А.Б. Влияние неравновесной низкотемпературной плазмы на свойства кож из шкур сома и судака / А.Б. Нагоев, М. Хайытов, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев** // В сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. XVII Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. Материалы конференции. – Казань. – 2021. – С. 312-316.

51. Бигеева, К.Р. Элитная кожа из отходов пищевой промышленности / К.Р. Бигеева, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, А.П. Евдокимова // В сборнике: Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире. материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов. – Казань. – 2021. – С. 733-736.

52. Рязанцева, Е.Ю. Разработка технологии производства хромового полуфабриката из шкур речных рыб / Е.Ю. Рязанцева, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, А.П. Евдокимова // В сборнике: Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ. – 2020. – С. 35-40.

53. Низамова, Д.К. Изменение физико-механических свойств кожи из шкур горбуши при использовании низкотемпературной плазмы / Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, М.Ф. Шаехов, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // В сборнике: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности. Материалы Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 174-176.

54. Будникова В.А. Исследование физико-механических и гигиенических свойств кожи из шкур речных рыб при плазменной модификации / В.А. Будникова, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина // В сборнике: Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг. Сборник научных трудов. Редколлегия: В.Т. Прохоров [и др.]. – Новочеркасск. – 2019. – С. 265-268.

55. Тихонова, В.П. Применение неравновесной низкотемпературной плазмы в технологии производства кож из шкур шуки / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.М. Фадеев // Материалы Научной сессии КГТУ. – Казань. – 2014. – С. 380.

56. Рахматуллина, Г.Р. Инновационный технологический процесс отмоки шкур семги с использованием неравновесной низкотемпературной плазмы / Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, Е.Ю. Рязанцева // В сборнике: Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг. Сборник научных трудов. Редколлегия: В.Т. Прохоров [и др.]. – Новочеркасск. – 2019. – С. 80-83.

57. Рязанцева, Е.Ю. Выбор методики производства вет-блю речных рыб на примере судака и сазана / Е.Ю. Рязанцева, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Р. Рахматуллина // В сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. Сборник статей XV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. В 2-х частях. – Казань. – 2019. – С. 104-105.

58. **Ахвердиев, Р.Ф.** Исследование влияния плазменной обработки на пористость кожи из шкур камбалы / **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, К.Р. Муканжанова, А.С. Парсанов, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина // В сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. Сборник статей XV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. В 2-х частях. – Казань. – 2019. – С. 103-105.

59. **Ахвердиев, Р.Ф.** Выбор режима плазменной обработки шкур камбалы / **Р.Ф. Ахвердиев**, В.А. Будникова, А.П. Евдокимова, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина // В

сборнике: Новые технологии и материалы легкой промышленности. Сборник статей XV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. В 2-х частях. – Казань. - 2019. - С. 109-112.

60. Тихонова, В.П. Гидрофилизация поверхности натурального гидрофобного материала неравновесной низкотемпературной плазмой / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, К.Р. Бигеева, Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев** // II Международная конференция «Газо-разрядная плазма и синтез наноструктур». - Казань. - С. 249-252.

61. Рахматуллина, Г.Р. Инновационная технология производства кож из шкур рыб / Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Е.А. Панкова // В сборнике: Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование. Материалы XIII Международной научно-практической конференции. - Улан-Удэ. - 2017. - С. 103-108.

62. Рахматуллина, Г.Р. Исследование влияния различных химических реагентов на структуру модифицированной дермы шкур форели в отменно-зольных процессах / Г.Р. Рахматуллина, И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, О.В. Матвеева // Труды LIV международной научно-практической конференции «Технические науки - от теории к практике». - Новосибирск. - 2016. № 54. - С. 143-150.

63. Бигеева, К.Р. Плазменная модификация дермы рыб / Бигеева К.Р., Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, М.Ф. Шасхов, **Р.Ф. Ахвердиев** // Материалы Всероссийской (с международным участием) конференции «Физика низкотемпературной плазмы». - Казань. - С. 175-176.

64. Рахматуллина, Г.Р. Исследование влияния плазменной обработки на механические свойства кожи из шкур камбалы / Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // III международный научно-практический семинар «Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства». - Киев. - С. 19-20.

65. Рязанцева Е.Ю. Инновации в технологии производства кожи из шкур сома / Е.Ю. Рязанцева, Д.К. Низамова, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев** // Сборник научных трудов. Научное электронное издание «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг». – Шахты. - 2018. - С.78-82.

66. Низамова Д.К. Исследование процесса дубления шкур форели / Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Сборник статей XIV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности», Россия, - Казань. - 2018. - С. 237-241.

67. Низамова Д.К. Преддубильные процессы производства кож из шкур лососевых рыб / Д.К. Низамова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова // Сборник тезисов IV Международного научно-практического заочного семинара «Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства». - Киев. -2018. -С. 11.

68. Тихонова, В.П. Влияние плазменной модификации на процесс отмоки шкур семги / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Материалы Научной сессии КГТУ. - Казань. -2010. - С. 381.

69. Рахматуллина, Г.Р. Исследование процесса отмоки шкур горбуши при плазменной модификации / Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, **Р.Ф. Ахвердиев**, К.Р. Муқанжанова // II международный научно-практический семинар «Инновационные материалы и технологии кожевенно-мехового производства». - Киев. -2016. -С.16-17.

70. Рахматуллина, Г.Р. Влияние плазменной обработки на процесс отмоки шкур горбуши / Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова, К.Р. Муқанжанова // Материалы VIII-ой Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности». - Казань. -2016. - С. 44-46.

71. Абдуллин, И.Ш. Зависимость между температурой сваривания голяя и физико-механическими характеристиками веет-блю и готовой кожи / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев** // Сборник статей VI Международной научно-практической

конференции студентов и молодых ученых «Новые технологии и материалы легкой промышленности». – Казань. - 2010. - С.117-120.

72. Абдуллин, И.Ш. Изменение структуры дермы шкур трески и горбуши при плазменной модификации / И.Ш. Абдуллин, В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, Г.Н. Хабарова / Аннотации сообщений научной сессии КНИТУ. – Казань. - 2013. - С.324.

73. Тихонова, В.П. Влияние плазменной модификации на обводненность шкур сазана / В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, О.В. Артемьева, А.О. Фадеев // Материалы Научной сессии КНИТУ. - Казань. -2014. - С. 380.

74. Желтухин, В.С. Применение неравновесной низкотемпературной плазмы для модификации кожи из шкур морских и речных рыб / В.С. Желтухин, Г.Р. Рахматуллина, В.П. Тихонова, **Р.Ф. Ахвердиев**, Д.К. Низамова // IV Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур»: сборник трудов / М-во высшего образования и науки Рос. Федерации, М-во образования и науки Респ. Татарстан, Казанский нац. исследовательский технический ун-т и др. – Казань. – 2024. - С.90-93

75. Желтухин, В.С. Модификация микроструктуры дермы шкуры щуки неравновесной низкотемпературной плазмой / В.С. Желтухин, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова // IV Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез нано-структур»: сборник трудов / М-во высшего образования и науки Рос. Федерации, М-во образования и науки Респ. Татарстан, Казанский нац. исследовательский технический ун-т и др. – Казань. – 2024. - С.94-97

76. Желтухин, В.С. Влияние плазменной модификации на эксплуатационные свойства материалов волокнистой структуры природного происхождения / В.С. Желтухин, Г.Р. Рахматуллина, **Р.Ф. Ахвердиев**, В.П. Тихонова, Д.К. Низамова, Л.В. Чапаева // IV Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез нано-структур» : сборник трудов (г. Казань, 6–9 декабря 2023 г.) / М-во высшего образования и науки Рос. Федерации, М-во образования и науки Респ. Татарстан, Казанский нац. исследовательский технический ун-т и др. – Казань. – 2024. - С.98-103.

77. Абдуллин, И.Ш. Неравновесная низкотемпературная плазма пониженного давления в процессах обработки натуральных полимеров / И.Ш. Абдуллин, **Р.Ф. Ахвердиев**, М.Ф. Шаехов // Вестник Казанского технологического университета. - 2003. - № 2. - С. 349-353.