

УДК 675.8 / 631.8

DOI 10.47367/0021-3497\_2025\_1\_5

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ОБЛАСТИ ПЕРЕРАБОТКИ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**CURRENT STATE OF RESEARCH  
IN THE FIELD OF PROCESSING COLLAGEN-CONTAINING WASTE**

*М.А. ДЕРЯБИН<sup>1</sup>, Т.Б. ТУМУРОВА<sup>1</sup>, Д.В. ШАЛБУЕВ<sup>1</sup>, С.Д. ЖАМСАРАНОВА<sup>1</sup>,  
Б.Б. ЦЫБИКОВ<sup>2</sup>*

*M.A. DERYABIN<sup>1</sup>, T.B. TUMUROVA<sup>1</sup>, D.V. SHALBUEV<sup>1</sup>, S.D. ZHAMSARANOVA<sup>1</sup>,  
B.B. SYBIKOV<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
<sup>2</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова)

(East Siberia State University of Technology and Management,  
(Buryat State Agricultural Academy Named after V.R. Filippov)

E-mail: deryaba1993@mail.ru

*В ходе производства изделий из кожи образуются различные виды отходов, представляющие собой ценный биоресурс, потенциал которого исчерпан не до конца. В статье охарактеризованы коллагенсодержащие отходы, образующиеся на разных этапах технологического процесса, представлены современные технологии их рециклинга в ценные продукты. Методы, применяемые в процессе переработки коллагенсодержащих отходов, основаны на физико-химической и ферментативной конверсии, связанной с разрушением коллагеновых волокон. В зависимости от выбранного метода можно формировать различные вторичные продукты, такие как оболочки для пищевых продуктов, трансплантаты, желатин и гидролизаты коллагена, а при рециклинге дубленых отходов путем химической модификации можно получать наполнители, стельки, обувной картон. Одним из перспективных направлений применения вторичных продуктов является их использование в сельском хозяйстве для получения кормовых добавок, стимулирования роста растений и повышения их физиологической устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, а также в качестве ранозаживляющих матриц, используемых для интенсификации скорости заживления ран. Развитие технологий рециклинга позволит не только реализовать биопотенциал технологических отходов природного сырья и расширить ассортимент вторичных продуктов, но и ускорить переход к экологически безопасному производству.*

*During the production of leather goods, various types of waste are generated, which are a valuable bioresource, the potential of which is not fully exhausted. The article characterizes collagen-containing waste generated at different stages of the technological process, presents modern technologies for their recycling into valuable products. The methods used in the process of recycling collagen-containing waste are based on physicochemical and enzymatic conversion associated with the destruction of collagen fibers. Depending on the chosen method, it is possible to form various secondary products, such as food casings, transplants, gelatin and collagen hydrolysates, and when recycling tanned waste by chemical modification, it is possible to obtain fillers, insoles, shoe cardboard. One of the promising areas of application of secondary products is their use in agriculture to obtain feed additives, stimulate plant growth and increase their physiological resistance to biotic and abiotic stresses, as well as wound-healing matrices used to intensify the rate of wound healing. The development of recycling technologies will not only realize the biopotential of technological waste of natural raw materials and expand the range of secondary products, but also accelerate the transition to environmentally friendly production.*

**Ключевые слова:** белковый гидролизат, коллаген, коллагенсодержащие отходы, рециклинг, степень дезинтеграции, желатин, биокomпозиты, биостимуляторы.

**Keywords:** protein hydrolyzate, collagen, collagen-containing waste, recycling, degree of disintegration, gelatin, biocomposites, biostimulants.

С каждым годом возрастает интерес к технологиям, направленным на вовлечение вторичного сырья в ресурсный цикл и получение новых функциональных продуктов. В кожевенной и меховой отраслях вторичное сырье направляют на переработку, сокращая тем самым образование отходов. Необходимо соблюдать требования природоохранного законодательства, разрабатывать мероприятия по снижению накопления и утилизации отходов [1].

Каждое предприятие кожевенной и меховой отраслей сталкивается с проблемой утилизации коллагенсодержащих отходов, которые относятся к IV и V классам опасности (согласно федеральному классификационному каталогу отходов) [2]. Со второй половины XX века учеными и исследователями активно изучалась данная проблема с целью создания безотходных технологий в различных областях народного хозяйства. После распада СССР многие из направлений были попросту заморожены и остаются неактивными до сих пор, т. к. кожевенно-меховая отрасль и учреждения, выпускающие профессиональные кадры и

занимающиеся исследованиями в данной области, значительно сократились. Однако несмотря на это, по недавним сообщениям генерального директора Российского союза кожевников и обувщиков (РСКО) Андрунакиевич А.Г. в рамках всероссийского круглого стола «Место кожи, меха и натуральных материалов в современной картине мира», Российская Федерация занимает 5 место по выпуску крафт и готовой кожи, что, несомненно, является показателем развития отрасли промышленности и образования колоссальных объемов отходов низкого качества сырья [3], которые лишь на 20% перерабатываются во вторичные продукты (желатин, мыла, коллагеновые пленки для пищевой промышленности и т. д.). Разрабатываются технологии переработки кожевенного и овчинно-шубного сырья, в т. ч. методы рециклинга коллагенсодержащих отходов, применение которых позволит снизить уровень антропогенного воздействия на окружающую среду [4].

Аналитическое изучение и научные изыскания новых путей переработки вто-

ричного сырья кожевенной промышленности, а именно белоксодержащего сырья, в новые продукты, обладающие функциональными свойствами и добавленной стоимостью, на современном этапе являются актуальными по следующим пунктам:

- переработка отходов и использование их в качестве вторичного сырья для получения косвенной продукции вместо их утилизации, т. е. получение дополнительной выгоды предприятиями;

- получение нового продукта, который возможно использовать в различных сферах деятельности человека, в том числе в области агробιοтехнологий, например, в качестве матрицы для иммобилизации эссенциальных микронутриентов, что позволит применять данную структуру как кормовую добавку для сельскохозяйственных животных и т. д.;

- снижение антропогенного воздействия, в том числе и углеродного следа, в связи с уменьшением объема отходов, которые в основном утилизируются путем вывоза на мусорные полигоны или прямого сжигания.

Однако любой продукт рециклинга должен иметь ряд определенных свойств, характеризующих возможность применения его в той или иной области. Изучение, обобщение и систематизация данных, связанных с современными технологиями переработки отходов, вызывает особый интерес.

Современное состояние кожевенной промышленности и экологические требования указывают на то, что на предприятиях активно внедряются малоотходные и безотходные технологии. Внедрение данных технологий способствует развитию направлений полной переработки белоксодержащих отходов, которые образуются на каждом этапе технологического производства натуральных кож и составляют от 30% до 50% массы исходного сырья, являющегося сырьем животного происхождения [5].

В состав шкуры животного входят белки, жиры, минеральные вещества, углеводы и вода. Белки, входящие в состав шкуры, относятся к семейству фибриллярных

белков, которые образуют длинные нити волокон, построенные из остатков аминокислот, связанных друг с другом ковалентными (пептидными и дисульфидными) и нековалентными (водородными, гидрофобными, ван-дер-ваальсовыми и электростатическими) взаимодействиями, что и обуславливает организацию нитевидной спиральной структуры. Данная изученность позволяет исследователям выстраивать множество гипотез о создании новых структур на основе таких белков посредством преобразования уровней их организации [6, 7].

Наибольший интерес представляют коллагенсодержащие отходы, т. к. коллаген составляет 98% всех волокнистых белков дермы [8]. Именно этот факт и является ключевой движущей силой, приводящей к изучению и поиску различных путей рециклинга коллагена и его производных.

При производстве готовой кожи образуются отходы разной конфигурации, которые могут применяться в качестве вторичного сырья. Наиболее ценным вторичным сырьем являются отходы, подвергшиеся наименьшей химической модификации, т. е. имеющие первоначальную структуру белка коллагена, – мездра, сырьевая и гольевая обрезь, спилок, а также отходы после химической обработки, дубления – дубленая обрезь, кожевенная стружка, пыль и т. д. [9]. Хромсодержащие отходы можно перерабатывать в наноструктурный волокнистый углеродный материал, который применим в легком цементном блоке [10].

Коллагенсодержащее сырье кожевенно-меховой отрасли условно можно подразделить на две группы: стандартное и нестандартное.

К первой группе относятся шкуры животных, соответствующие нормативным требованиям, предъявляемым к сырью, подвергающемуся физико-химическому и механическому воздействию с целью получения кожевенного полуфабриката. В свою очередь, стандартное или кондиционное сырье на разных этапах выделки теряет около 60% коллагена. На этапе мездрения – механического воздействия на внутреннюю сторону шкуры для удаления

рыхлой подкожной жировой клетчатки – образуется мездра, которая составляет 20...30% от массы шкур. Соответственно, при утилизации мездры на полигонах такие «рыхлые» структуры белок- и жиросодержащих отходов становятся комфортной средой для развития патогенной микрофлоры. Поэтому на кожевенно-меховых предприятиях основную массу мездровых отходов перерабатывают в малоценные кормовые добавки, удобрения, жир для жирования готовой кожи [11]. Кроме мездры, образуются еще отходы из низкосортного сырья при обрезке непригодных участков для получения готовой кожи.

Для повышения сортности сырья разработаны способы применения высококачественной плазмы пониженного давления для обработки кожной ткани. Плазма пониженного давления воздействует на пористую структуру дермы, модифицируя ее, что позволяет снизить процент прогнозируемого брака и повысить сортность готового полуфабриката [12...15].

Нестандартное сырье – низкосортное сырье, которое полностью не пригодно для получения готовой кожи ввиду значительных пороков [3] или разрушения структуры дермы по причине неправильной консервации и хранения. Из него трудно получить хорошую конкурентоспособную кожу [11], оно сразу попадает в отходы, но его можно использовать в качестве вторичного сырья.

Одним из направлений рационального использования отходов кожевенной и меховой промышленности является проведение гидролиза белка коллагена. Варьируя степень гидролиза структуры коллагена, можно получать различные продукты в зависимости от молекулярной массы последних.

Продукты химической и ферментативной конверсии коллагенсодержащих отходов и соответственно методы их переработки можно подразделить на три категории (рис. 1) в зависимости от степени дезинтеграции структуры макромолекулы коллагена или глубины растворения коллагеновых волокон.

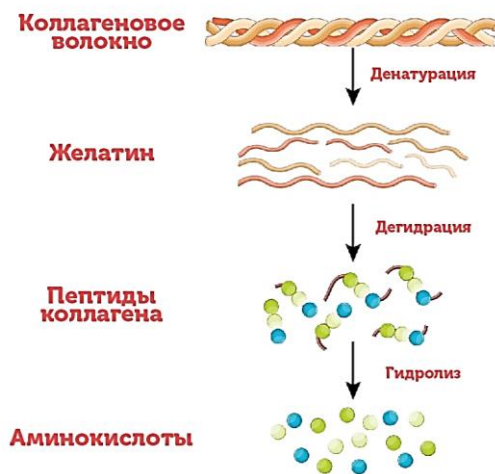


Рис. 1

К первой категории относятся методы и технологии, направленные на разволокнение структуры коллагенового волокна. Одним из методов разволокнения является термическая обработка коллагена – денатурация или разрушение связей в структуре коллагена, а также гидролитическое разрушение пептидных связей. В результате получают продукт, обладающий высокой молекулярной массой, в дальнейшем его применяют для получения оболочек для пищевых продуктов, пищевых пленок, трансплантатов для медицины и т. д.

Во вторую категорию входят методы воздействия на коллаген, позволяющие получать растворы коллагена со средней молекулярной массой. Такие растворы представлены пептидными остатками или в форме пачек молекул, при этом у них сохраняется способность к реконструкции, т. е. к образованию фибрилл и микроволокон, что позволяет получить коллагеновые препараты для медицины (коллагеновая нетканая основа, коллагеновые пленки для трансплантатов) и косметики.

К третьей категории относятся методы, основанные на полном гидролизе коллагена или получении пептидных остатков. Белковые гидролизаты коллагена хорошо растворяются в воде, термостабильны, их чаще всего применяют в пищевой промышленности, в животноводстве в качестве кормовых добавок. В последние годы все больше возрастает интерес к применению белковых гидролизатов в сельском

хозяйстве в качестве стимуляторов роста и развития семян.

Данная классификация относится преимущественно к недубленным коллагенсодержащим отходам, однако в ней можно выделить отдельную категорию, относящуюся к дубленным отходам, которая также связана с дезинтеграцией структуры молекулы, но уже на макроуровне. Такие методы в основном предполагают измельчение и повторное использование дубленных отходов на кожевенно-обувных предприятиях в качестве вспомогательных материалов, из которых путем химической модификации получают наполнители, стельки, обувной картон или даже низ обуви [16].

Для получения различных фракций растворимого коллагена применяют различные методы. Так, известны методы получения кислоторастворимого и солерастворимого коллагена путем прямой экстракции соединительной ткани соответственно кислыми буферами и нейтральными солевыми растворами. Растворы зрелого коллагена получают после предварительной ферментативной, химической и механической обработки сырья [17].

Существуют немногочисленные способы получения продуктов растворения коллагена без применения химических реактивов или с использованием одного типа растворителя. Например, получение биологически активного белкового пищевого комплекса путем многоэтапного термического гидролиза измельченных шкур животных с последующим объединением и упариванием жидких фракций до вязкотягучего состояния или белкового гидролизата, используемого в качестве поверхностно-активного вещества, получаемого путем термического гидролиза в растворе гидроксида натрия [18, 19].

Однако направленность исследований в современном мире меняется: большая часть исследований базируется на принципе практического использования продуктов, которые возможно получить по разрабатываемым технологиям и методам. Именно поэтому границы между применением разных методов и переводом коллагенсодержащих отходов в необходимое

состояние для использования в разных сферах народного хозяйства истончаются до синергизма физико-химических (в т. ч. механических) и ферментативных способов конверсии коллагенсодержащих отходов [16]. Например, получение кислотных дисперсий коллагена основывается на воздействии щелочно-солевых растворов на коллагенсодержащие отходы с последующим растворением их в кислоте. В процессе такой обработки в молекулах коллагена происходит расщепление различных типов поперечных связей без значительного нарушения пептидных связей. Далее в процессе кислотного растворения разрушается большая часть поперечных (главным образом водородных) связей при условии применения низких концентраций кислот и, как правило, простых органических. В этом случае в раствор переходят участки, сохранившие основную структуру нативного коллагена. Они имеют высокую степень асимметрии и являются палочкообразными трехспиральными частицами [20, 21].

Изучаются возможности применения неклассических для кожевенно-меховой промышленности растворов минеральных солей в качестве растворителя. Использование 1М раствора бромид натрия в течение 4 ч при температуре 60°C приводит к растворению коллагеновых волокон, что подтверждается данными электрофореза (SDS-PAGE), микроскопии и параметрами вязкости полученного продукта [22].

Проводятся исследования в направлении не только создания новых продуктов, но и оптимизации существующих технологий получения классических продуктов. Бразильские исследователи использовали так называемый «паровой взрыв» для предварительной обработки и раскрытия волокнистой структуры отходов кож хромового дубления и последующего щелочного гидролиза, в результате которого выход желатина увеличивался минимум в 2 раза [23].

В настоящее время известны некоторые виды дубленных кожевенных отходов, которые перерабатываются в биогаз путем анаэробного сбраживания в течение продолжительного времени в биореакторах.

Данные технологии также подвергаются оптимизации учеными. Так, в соответствии с опубликованными результатами исследований [24] предварительное экстрагирование и гидротермальная обработка хромовой стружки позволяют увеличить суточное производство метана на 10%.

Особый интерес представляют исследования новых ферментных препаратов, используемых для перевода коллагена в растворимое состояние. Шкуры животных и гидробионтов имеют разную структуру, но принципиальные различия в типе коллагена несущественны, поэтому препараты, применяемые для гидролиза белка отходов рыб, могут быть использованы и для кожевенно-меховых отходов. Так, для успешного ферментативного гидролиза отходов рыб с низкой экономической ценностью возможно применение растительной эндопептидазы (цистеиновой протеазы), получаемой из латекса распространенного в южно-азиатских странах растения рода *Calotropis* и имеющей название «протеаза *Biduri*». Ключевыми параметрами, определяющими наиболее эффективный способ ферментативного гидролиза, являлись такие характеристики: процент растворимого белка, количество пептидов, реагирующих по Майяру, и уровень прогорклости, определяемый по количеству тиобарбитуровой кислоты [25].

В то же время по данным, представленным индонезийскими учеными, применение фермента папаина (относится классу цистеиновых эндопептидаз) при гидролизе белка *Pangasius pangasius* сомообразных рыб, обитающих в водах южно-азиатских стран, эффективно для получения гидролизатов белка с молекулярной массой 11,90...65,20 кДа и высокой степенью антиоксидантной активности 37,85...67,62% [26].

Проводятся исследования в направлении применения кислотных растворителей, полученных на основе культивирования микроорганизмов. Предложена технология создания биоактивного коллагенового продукта, который получают с применением кисломолочных композиций на основе молочнокислых микроорганизмов, синте-

зирующих органические кислоты [27]. При оценке ранозаживляющего действия разработанного биоактивного коллагенового продукта установлено, что данный продукт способствует сокращению сроков заживления ран на модели термического ожога [28...30].

Органические кислоты, синтезируемые молочнокислыми микроорганизмами, приводят к разрушению водородных и электростатических связей в структуре макромолекулы коллагена [31].

Коллагеновые продукты, полученные с применением ферментативного обезволаживания и последующей экстракции органическими кислотами, широко используются в тканевой инженерии и при клеточном культивировании ввиду отсутствия цитотоксического действия.

Данные способы позволяют упростить и удешевить получение биополимерного материала на основе телячьего коллагена при создании клеточно-инженерных и тканеинженерных конструкций [32...34]. Однако в предложенной технологии особое внимание уделяется качеству и типу сырья, что требует тщательной сортировки исходного коллагенсодержащего сырья и утилизации его остатков. Одним из методов утилизации является получение гидролизатов коллагена и применение их в сельском хозяйстве. Для получения гидролизата коллагена из отходов переработки скумбрии авторы используют кислотно-ферментативный гидролиз с предшествующей щелочной промывкой для удаления растворимых белков. Анализ аминокислотного состава показал, что полученный гидролизат рекомендован в качестве усилителя роста растений в смеси с органическими удобрениями [35].

Известно, что физико-механические свойства пленок, получаемых на основе гидролизата коллагена, могут быть улучшены наночастицами оксида титана (IV) при внесении в растворитель. Данная модификация приводит к значительному снижению паропроницаемости и растворимости в воде, а также к увеличению прочности на разрыв. Однако такие пленки хоть и могут стать альтернативой синтети-

ческим упаковочным материалам, их использование ограничено применением лишь в пищевой промышленности, т. к. оксид титана обладает генотоксичностью [36].

Согласно исследованиям Сарторе и др. была выявлена возможность использования эпоксидных разбавителей и пластификаторов (таких как диглицидиловый эфир полиэтиленгликоля (*PEGDE*) или эпоксидированное соевое масло (*ESO*)) в качестве сшивающего агента при получении биокomпозитных материалов на основе гидролизата коллагена, полученного из отходов кожевенной промышленности. По утверждениям авторов, данные биокomпозиты применимы и в сфере сельского хозяйства, например, для производства биоразлагаемых горшков (контейнеров) с мульчирующим эффектом и дополнительным удобряющим действием гидролизата [37, 38].

Наиболее перспективным в сельском хозяйстве является применение гидролизата коллагена в качестве биостимуляторов. К биостимуляторам относятся материалы, содержащие более одного вещества и/или микроорганизма, способного оказывать стимулирующий эффект на усвоение питательных веществ растениями и увеличивающего их физиологическую устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, повышающие урожайность при использовании их в небольших количествах (менее 10...5 моль/л) [39].

По мнению итальянских ученых, в последние годы применение биостимуляторов необходимо для перехода к устойчивому экологически безопасному земледелию. Использование биостимуляторов приводит к повышению содержания питательных веществ в тканях растений, положительным метаболическим изменениям, активизирует азотный обмен, а также оказывает положительное влияние на активность и экспрессию генов ферментов, участвующих в первичном и вторичном метаболизме растений. Это способствует увеличению длины и плотности корневых волосков, что указывает на стимуляцию «реакции поглощения питательных веществ» [40]. По этим причинам разработка новых биостимуляторов на основе гидро-

лизата коллагена становится предметом научного интереса многих исследователей.

Некоторые исследования установили положительное действие гидролизата коллагена на рост растения: первым выявленным эффектом была стимуляция биомассы корневой системы и листовой [41, 42]. Например, Эртани и др. сообщили, что кратковременное применение гидролизата коллагена вызывает «гиббереллиноподобную активность и слабую ауксиноподобную активность», что увеличивает биомассу корней растений кукурузы [43]. Эти исследования согласуются с эффектами, вызываемыми гуминовыми кислотами у растений, которые, как известно, увеличивают рост корней в краткосрочной перспективе и способствуют увеличению биомассы побегов в течение более длительного времени [41]. Увеличение сухой массы корней может привести к более успешной пересадке растений, повышению общей продуктивности растительной биомассы и урожайности [44].

Данные исследования проводятся и в Российской Федерации. Разрабатываются биопрепараты для сельского хозяйства на основе продуктов переработки коллагенсодержащих отходов и вторичных продуктов молочной промышленности [45], спилка крупного рогатого скота с применением минеральных кислот [46], а также изучается их влияние на энергию роста и всхожесть семян, что подтверждает эффективность применения белковых стимуляторов роста в растениеводстве [47].

Согласно сообщениям ряда авторов применение белковых стимуляторов роста, полученных из отходов кожевенной промышленности, возможно не только для стимуляции роста растений [48], но и для снижения интенсивности развития возбудителей болезней пшеницы (мучнистой росы и септориоза) до 80% [49].

В настоящее время уже существуют коммерческие версии биостимуляторов на основе растворенных животных белков. Так, например, совместное исследование ученых из Мексики и Испании, посвященное влиянию биостимулятора *Pepton* (ферментативно гидролизованный живот-

ный белок) на рост и урожайность томатов черри, показало, что внесение препарата в начале эксперимента путем опрыскивания и в конце эксперимента путем орошения приводит к значительному приросту урожайности (27%). Это объясняется наличием в биостимуляторе пептидов с короткой цепью, участвующих в образовании эндогенных гормонов и метаболитических медиаторов растения [50].

По мнению авторов, данные направления научных изысканий являются наиболее перспективными и необходимыми, т. к. реализуются в рамках глобальных целей человечества, связанных с сохранением продовольственной безопасности и переходом к экологически безопасному земледелию, а также снижением антропогенного воздействия на экосистему.

## ВЫВОДЫ

Научно-технический прогресс и совершенствование различных методов диагностики и анализа приводит к увеличению разнообразия методов рециклинга коллагенсодержащих отходов и созданию широкого спектра продуктов, применение которых с каждым годом увеличивается. Исследования в данной области, опирающиеся на фундаментальные основы молекулярного конструирования, направлены на расширение спектра клеточно-инженерных и тканеинженерных конструкций, используемых в разных целях. Не менее важным и перспективным направлением является использование продуктов, полученных из коллагенсодержащих отходов, в животноводстве и растениеводстве. Целесообразность их практического применения должна подтверждаться реализуемостью технологии и наличием спроса, согласующегося с успешной коммерциализуемостью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдикеримова Г.И., Куланова Д.А., Умбеталиев Н.А. и др. Кожевенное производство: последствия пандемии и технологические тренды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1(397). Р. 23...28. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_23. – EDN FKUEPM.

2. <https://rpn.gov.ru/fkko/30400000000/>
3. <https://flatik.ru/o-problemah-kachestva-kojevennogo-sireya> (дата обращения: 18.05.2024).
4. Шалбуев Д.В., Раднаева В.Д., Советкин Н.В., Тумурова Т.Б. Инновационные технологии переработки кожевенного и мехового сырья // Экология и промышленность России. 2020. № 7 (24). С. 30...36. – DOI 10.18412/1816-0395-2020-7-30-36. – EDN ВУКАUN.
5. Кравченя Г.Н., Кордикова Е.И., Спиглазов А.В. Направления и возможности переработки отходов кожевенного производства // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2017. № 2 (199). С. 220...226. – EDN YMANZO.
6. Терпиловский М.А. Учебно-методическое пособие по биологической химии. Ульяновск: УлГУ, 2014. 246 с.
7. [https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehant/learn/nano-biology/lek\\_4.pdf](https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehant/learn/nano-biology/lek_4.pdf) (дата обращения: 12.12.2022).
8. Кисилев В.И. Коллагенсодержащее сырье // Морская индустрия. – <http://mi32.narod.ru/01-02/kollagen.html> (дата обращения: 13.12.2022).
9. Temirova M.I. Modern directions of processing leather and fur waste production // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. 2022, 3 (2). Р. 39...45. – DOI 10.24412/2181-144X-2022-2-39-45. – EDN QYEEHL.
10. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Румянцев Е.В. и др. Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 21...29. – DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_6\_21. – EDN TVSKEG.
11. Страхов И.П., Шестакова И.С., Куцидин Д.А. Химия и технология кожи и меха: учебник для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1985. 496 с.
12. Кулецов Г.Н. Повышение эффективности использования низкосортного сырья в кожевенно-меховом производстве с применением высокочастотной плазмы: дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2009. 383 с.
13. Шатаева Д.Р., Кулецов Г.Н., Абдуллин И.Ш. Исследования влияния взаимодействия неравновесной низкотемпературной плазмы и кремнийорганических соединений на физико-механические свойства кож из шкур КРС // Вестник Казанского технологического университета, 2014. № 11 (17). С. 73...74. – EDN SHKDFV.
14. Кулецов Г.Н., Жуковская Т.В., Семенов Д.М., Усманов А.А. Повышение физико-механических свойств кож для верха обуви с искусственной лицевой поверхностью за счет применения обработки неравновесной низкотемпературной плазмой // Вестник Казанского технологического университета, 2015. № 19 (18). С. 158...159. – EDN UYYFGP.
15. Timoshina Y.A., Voznesensky E.F., Karimullin I.I. etc. Application of adhesives and plasma modification to increase the adhesive strength of fibrous composites // Journal of Physics: Conference Series.

М., 2021, 1942. P. 012010. – DOI 10.1088/1742-6596/1942/1/012010. – EDN IKCQZA.

16. *Шестов А.В.* Технологии переработки отходов кожевенного производства // Инновационная экономика: перспективы и совершенствование. 2016. №8 (18). С. 179...185. – EDN XIEVIZ.

17. *Сапожникова А.И.* Разработка и оценка качества продукции на основе фибриллярных белков из отходов сырья животного происхождения: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 327с.

18. Пат. 2722034 РФ. Способ получения коллагенно-белкового комплекса из шкур животных.

19. Пат. 2375385 РФ. Способ получения белково-гидролизата.

20. *Михайлов А.Н.* Коллаген кожного покрова и основы его переработки: монография. М.: Легкая индустрия, 1971. 528 с.

21. Пат. 2486258 РФ. Способ получения продуктов растворения коллагена.

22. *Zhang L., Li Z., Xiao Y. etc.* Dissolution of collagen fibers from tannery solid wastes in salt aqueous solutions: Hofmeister series evaluation // Chemical technology and biotechnology. 2020, 95 (4), P. 1225...1233. – DOI 10.1002/jctb.6311.

23. *Scopel B.S., Restelatto D., Baldasso C. etc.* Steam explosion as pre-treatment to increase gelatin extraction yield from chromium tanned leather wastes // Environmental progress & sustainable energy. 2019, 38 (2). P. 367... 373. – DOI 10.1002/ep.12956.

24. *Gomes C.S., Repke J.U., Meyer M.* The effect of various pre-treatment methods of chromium leather shavings in continuous biogas production // Engineering in Life Sciences. 2020, 20 (3-4). P. 79...89. – DOI 10.1002/elsc.201900127.

25. *Witono Y., Taruna I., Widrati W.S., Ratna A.* Enzymatic Hydrolysis of the Low Economic Value Fishes using Biduri's Protease // Journal Teknologi dan Industri Pangan. 2015, 25 (2). P. 140...145. – DOI 10.6066/jtip.2014.25.2.140.

26. *Baehaki A., Lestari S.D., Romadhoni A.R.* Protein Hydrolysis from Catfish Prepared by Papain Enzyme and Antioxidant Activity of Hydrolyzate // Journal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia. 2015, 18 (3). P. 230...239. – DOI 10.17844/jphpi.v18i3.11208.

27. Пат. 2715639 РФ. Способ получения биоактивного коллагенового продукта.

28. *Тумурова Т.Б., Шалбуев Д.В., Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д.* Влияние консорциума микроорганизмов на репаративные свойства коллагенового препарата при технических ожогах // Механизмы адаптации микроорганизмов к различным условиям среды обитания: тез. докл. Иркутск, 2019. С. 206...208. – EDN PCPZTD.

29. *Тумурова Т.Б., Шалбуев Д.В., Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д.* Изучение ранозаживляющего действия коллагеновой матрицы // Биотехнология в интересах экологии и экономики Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. С. 69...73. – EDN XZULXF.

30. *Лебедева С.Н., Тыхеев А.А., Шалбуев Д.В. и др.* Оценка репаративной эффективности коллагеновых матриц на модели термического ожога //

Acta biomedica scientifica. 2022. №7 (1). С. 220...231. – DOI 10.29413/ABS.2022-7.1.25. – EDN QMSEYH.

31. *Шалбуев Д.В.* О внедрении ресурсосберегающих технологий переработки коллагенсодержащего сырья // Вестник ВСГУТУ. 2014. № 6 (51). С. 93...100. – EDN TFLAXL.

32. *Кухарева Л.В., Шамолина И.И., Полевая Е.В.* Метод получения коллагена из телячьей шкуры для тканевой инженерии и клеточного культивирования // Цитология. 2010. №. 52 (7). С.597...602. – EDN OJPRGX.

33. Пат. 2214827 РФ. Способ получения коллагена для лечения патологий тканей организма.

34. Пат. 2774947 РФ. Биополимерный материал для клеточно-инженерных и/или тканеинженерных конструкций и способ его получения.

35. *Plavan V., Koliada M., Chen W., Barsiikov V.* Extraction of collagen from fish waste and determination of its amino acid composition // 5th International Conference on Advanced Materials: Proceedings of the conference. Rumania: Bucharest. 2014. P. 267...271.

36. *Erciyas A., Ocak B.* Physicomechanical, thermal, and ultraviolet light barrier properties of collagen hydrolysate films from leather solid wastes incorporated with nano TiO<sub>2</sub> // Polymer composites. 2019, 40 (12), P. 4716...4725. – DOI 10.1002/pc.25340.

37. *Sartore L., Schettini E., Bignotti F. etc.* Green composites and blends from leather industry waste // Polymer composites. 2016, 37 (12), P. 3416...3422. – DOI 10.1002/pc.23541.

38. *Sartore L., Schettini E., Bignotti F. etc.* Biodegradable plant nursery containers from leather industry wastes // Polymer composites. 2018, 39 (8). P. 2743...2750. – DOI 10.1002/pc.24265.

39. *Calvo P., Nelson L., Klopper J.W.* Agricultural uses of plant biostimulants // Plant and Soil. – 2014, 383. P. 3...41. – DOI 10.1007/s11104-014-2131-8.

40. *Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A.* Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism // Scientia Agricola. 2016, 73 (1), P. 18...23. – DOI 10.1590/0103-9016-2015-0006.

41. *Ertani A., Cavani L., Pizzeghello D. etc.* Biostimulant activity of two protein hydrolysates on the growth and nitrogen metabolism in maize seedlings // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2009. P. 237...244. – DOI 10.1002/jpln.200800174.

42. *Zhang L., Garneau M.G., Majumdar R. etc.* Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids // Plant Journal. 2015, 81 (1). P. 134...146. – DOI 10.1111/tpj.12716.

43. *Ertani A., Pizzeghello D., Altissimo A., Nardi S.* Use of meat hydrolysate derived from tanning residues as plant biostimulant // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 2013, 176. P. 287...295. – DOI 10.1002/jpln.201200020.

44. *Nardi S., Carletti P., Pizzeghello D, Muscolo A.* Biological activities of humic substances, in biophysi-

cochemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems. Part I. Fundamentals and impact of mineral-organic-biota interactions on the formation, transformation, turnover, and storage of natural nonliving organic matter (NOM) John Wiley, Hoboken, NJ, USA. 2009. P. 305...339. – DOI 10.1002/9780470494950.ch8.

45. Дерябин М.А., Шалбуев Д.В., Алехина В.А. и др. Исследование влияния воздействия биоактивного препарата на основе продуктов переработки коллагенсодержащих отходов на развитие и рост семян сельскохозяйственных культур // Пищевые технологии и биотехнологии. Ч. 2. Казань: КНИТУ, 2019. С. 57...62. – EDN WWENML.

46. Пат. 2533037 РФ. Способ получения белкового стимулятора роста и развития растений.

47. Куцакова В.Е., Кременевская М.И., Марченко В.И. Влияние белковых стимуляторов из побочных продуктов переработки крупного рогатого скота на рост и развитие растений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2013. № 33. С. 27...31. – EDN SBYSC.

48. Куцакова В.Е., Кременевская М.И., Лаврентьев А. Г. Технология получения стимулятора роста и развития растений из спилка гольевого говяжьего // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сб-к науч. тр. СПб., 2014. №2. С. 412...414. – EDN STUJEJ.

49. Кременевская М.И., Колесников Л.Е., Разумова И.Е. Влияние белкового стимулятора из спилка крупного рогатого скота на элементы продуктивности пшеницы и интенсивность развития болезней // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 53. С. 80...87. – DOI 10.24411/2078-1318-2018-14080. – EDN YUOEHB.

50. Polo J., Mata P. Evaluation of a biostimulant (Pepton) based in enzymatic hydrolyzed animal protein in comparison to seaweed extracts on root development, vegetative growth, flowering, and yield of Gold Cherry tomatoes grown under low stress ambient field conditions // Frontiers in Plant Science. 2018, 8. P. 2261. – DOI 10.3389/fpls.2017.02261.

## REFERENCES

1. Abdikerimova G.I., Kulanova D.A., Umbetaliyev N.A. et al. Leather Production: the Consequences of the Pandemic and Technological Trends // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2022. No. 1(397). P. 23...28. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_23. – EDN FKUEPM.

2. <https://rpn.gov.ru/fkko/3040000000>

3. <https://flatik.ru/o-problemah-kachestva-kojevenogo-sireya>

4. Shalbuev D.V., Radnaeva V.D., Sovetkin N.V., Tumurova T.B. Innovative technologies for processing leather and fur raw materials // Ecology and Industry of Russia. 2020, No. 7 (24). P. 30...36. – DOI 10.18412/1816-0395-2020-7-30-36. – EDN BYKAUN.

5. Kravchenya G.N., Kordikova E.I., Spiglazov A.V. Directions and possibilities of processing leather production waste // Proceedings of BSTU. Series. 2, Chemical technologies, biotechnology, geoecology. Minsk: BSTU, 2017. No. 2 (199). P. 220...226. – EDN YMANZO.

6. Terpilovsky M.A. Textbook on biological chemistry: study guide. Ulyanovsk: Ulyanovsk State University, 2014. 246 p.

7. [https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehamt/learn/nano-biology/lek\\_4.pdf](https://inep.sfedu.ru/wp-content/uploads/ehamt/learn/nano-biology/lek_4.pdf) (accessed: 12/12/2022).

8. Kisilev V.I. Collagen-containing raw materials // Marine Industry. – <http://mi32.narod.ru/01-02/kollagen.html> (accessed: 12/13/2022).

9. Temirova M.I. Modern directions of processing leather and fur waste production // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. 2022, 3 (2). P. 39...45. – DOI 10.24412/2181-144X-2022-2-39-45. – EDN QYEEHL.

10. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Rumyantsev E.V. et al. The use of textile industry waste in the production of building composites // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2021. No. 6(396). P. 21...29. – DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_6\_21. – EDN TVSKEG.

11. Strakhov I.P., Shestakova I.S., Kutsidin D.A. Chemistry and technology of leather and fur: textbook for universities. M.: Legprombytzdat, 1985. 496 s.

12. Kulevtsov G.N. Increasing the efficiency of using low-grade raw materials in leather and fur production using high-frequency plasma: dis. doc. tech. sciences. Kazan, 2009. 383 s.

13. Shataeva D.R., Kulevtsov G.N., Abdullin I.Sh. Studies of the influence of interaction of nonequilibrium low-temperature plasma and organosilicon compounds on the physical and mechanical properties of leather from cattle skins // Bulletin of the Kazan Technological University. 2014. No. 11 (17). P. 73...74. – EDN SHKDFV.

14. Kulevtsov G.N., Zhukovskaya T.V., Semenov D.M., Usmanov A.A. Improving the physical and mechanical properties of leather for shoe uppers with artificial grain surface by using nonequilibrium low-temperature plasma treatment // Bulletin of Kazan Technological University. 2015. No. 19 (18). P. 158...159. – EDN UYYFGP.

15. Timoshina Y.A., Voznesensk E.F., Karimulli I.I. etc. Application of adhesives and plasma modification to increase the adhesion strength of fibrous composites // Journal of Physics: Conference Series. 2021, 1942. P. 012010. – DOI 10.1088/1742-6596/1942/1/012010. – EDN IKCQZA.

16. Shestov A.V. Technologies for processing leather production waste // Innovative economics: prospects and improvement. 2016. No. 8 (18). P.179...184. – EDN XIEVIZ.

17. Sapozhnikova A.I. Development and quality assessment of products based on fibrillar proteins from animal waste raw materials: diss. doc. tech. sciences. Moscow, 1999. 327 p.

18. Pat. 2722034 RU. Method for producing a collagen-protein complex from animal skins.
19. Pat. 2375385 RU. Method for producing protein hydrolysate.
20. *Mikhailov A.N.* Skin collagen and the principles of its processing: monograph. Moscow: Legkaya industriya, 1971, 528 p.
21. Pat. 2486258 RU. Method for obtaining collagen dissolution products.
22. *Zhang L., Li Z., Xiao Y. etc.* Dissolution of collagen fibers from tannery solid wastes in salt aqueous solutions: Hofmeister series evaluation // *Chemical technology and biotechnology*. 2020, 95 (4), P. 1225...1233. – DOI 10.1002/jctb.6311.
23. *Scopel B.S., Restelatto D., Baldasso C. etc.* Steam explosion as pre-treatment to increase gelatin extraction yield from chromium tanned leather wastes // *Environmental progress & sustainable energy*. 2019, 38 (2). P. 367... 373. – DOI 10.1002/ep.12956.
24. *Gomes C.S., Repke J.U., Meyer M.* The effect of various pre-treatment methods of chromium leather shavings in continuous biogas production // *Engineering in Life Sciences*. 2020, 20 (3-4). P. 79...89. – DOI 10.1002/elsc.201900127.
25. *Witono Y., Taruna I., Widrati W.S., Ratna A.* Enzymatic Hydrolysis of the Low Economic Value Fishes using Biduri's Protease // *Journal Teknologi dan Industri Pangan*. 2015, 25 (2). P. 140...145. – DOI 10.6066/jtip.2014.25.2.140.
26. *Baehaki A., Lestari S.D., Romadhoni A.R.* Protein Hydrolysis from Catfish Prepared by Papain Enzyme and Antioxidant Activity of Hydrolyzate // *Journal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 2015, 18 (3). P. 230...239. – DOI 10.17844/jphpi.v18i3.11208.
27. Pat. 2715639 RU. Method for obtaining a bioactive collagen product.
28. *Tumurova T.B., Shalbuev D.V., Lebedeva S.N., Zhamsaranova S.D.* Influence of a consortium of microorganisms on the reparative properties of a collagen preparation for technical burns // *Mechanisms of adaptation of microorganisms to various environmental conditions: abstract. report*. Irkutsk, 2019. Pp. 206...208. – EDN PCPZTD.
29. *Tumurova T.B., Shalbuev D.V., Lebedeva S.N., Zhamsaranova S.D.* Study of the wound healing effect of collagen matrix // *Biotechnology in the interests of ecology and economy of Siberia and the Far East*. Ulan-Ude: VSGUTU, 2018. Pp. 69...73. – EDN XZULXF.
30. *Lebedeva S.N., Tykheev A.A., Shalbuev D.V. etc.* Evaluation of the reparative efficiency of collagen matrices on a thermal burn model // *Acta biomedica scientifica*. Irkutsk, 2022. No. 7 (1). P. 220...231. – EDN QMSEYH.
31. *Shalbuev D.V.* On the implementation of resource-saving technologies for processing collagen-containing raw materials // *Bulletin of VSGUTU*. 2014, No. 6 (51). P. 93...100. – EDN TFLAXL.
32. *Kukhareva L.V., Shamolina I.I., Polevaya E.V.* Method for obtaining collagen from calf skin for tissue engineering and cell cultivation // *Tsitology*. 2010, No. 52 (7). P. 597...602. – EDN OJPRGX.
33. Pat. 2214827 RU. Method for obtaining collagen for the treatment of tissue pathologies.
34. Pat. 2774947 RU. Biopolymer material for cell-engineered and/or tissue-engineered constructs and the method for producing it.
35. *Plavan V., Koliada M., Chen W., Barsiikov V.* Extraction of collagen from fish waste and determination of its amino acid composition // 5th International Conference on Advanced Materials: Proceedings of the conference. Rumania: Bucharest. 2014. P. 267...271.
36. *Erciyas A., Ocak B.* Physicomechanical, thermal, and ultraviolet light barrier properties of collagen hydrolysate films from leather solid wastes incorporated with nano TiO<sub>2</sub> // *Polymer composites*. 2019, 40, (12), P. 4716...4725. – DOI 10.1002/pc.25340.
37. *Sartore L., Schettini E., Bignotti F. etc.* Green composites and blends from leather industry waste // *Polymer composites*. 2016, 37 (12). P. 3416...3422. – DOI 10.1002/pc.23541.
38. *Sartore L., Schettini E., Bignotti F. etc.* Biodegradable plant nursery containers from leather industry wastes. *Polymer composites*. 2018, 39 (8). P. 2743...2750. – DOI 10.1002/pc.24265.
39. *Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W.* Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant and Soil*. 2014, 383. P. 3...41. – DOI 10.1007/s11104-014-2131-8.
40. *Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A.* Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. 2016, 73 (1), P. 18...23. – DOI 10.1590/0103-9016-2015-0006.
41. *Ertani A., Cavani L., Pizzeghello D. etc.* Biostimulant activity of two protein hydrolysates on the growth and nitrogen metabolism in maize seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2009. P. 237...244. – DOI 10.1002/jpln.200800174.
42. *Zhang L., Garneau M.G., Majumdar R. etc.* Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids. *Plant Journal*. 2015, 81 (1). P. 134...146. – DOI 10.1111/tpj.12716.
43. *Ertani A., Pizzeghello D., Altissimo A., Nardi S.* Use of meat hydrolysate derived from tanning residues as plant biostimulant // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2013, 176. P. 287...295. – DOI 10.1002/jpln.201200020.
44. *Nardi S., Carletti P., Pizzeghello D., Muscolo A.* Biological activities of humic substances, in biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems. Part I. Fundamentals and impact of mineral-organic-biota interactions on the formation, transformation, turnover, and storage of natural nonliving organic matter (NOM) John Wiley, Hoboken, NJ, USA. 2009. P. 305...339. – DOI 10.1002/9780470494950.ch8.
45. *Deryabin M.A. Shalbuev D.V., Alekhina V.A. etc.* Study of the influence of a bioactive preparation

based on collagen-containing waste processing products on the development and growth of seeds of agricultural crops // Food technologies and biotechnologies. Part 2. Kazan: KNITU, 2019. P. 57..62. – EDN WWENML.

46. Pat. 2533037 RU. Method for obtaining a protein stimulator of plant growth and development.

47. *Kutsakova V.E., Kremenevskaya M.I., Marchenko V.I.* Effect of protein stimulants from by-products of processing large cattle on the growth and development of plants // News of the St. Petersburg State Agrarian University. 2013. No. 33. P. 27...31. – EDN SBYSCL.

48. *Kutsakova V.E., Kremenevskaya M.I., Lavrentyev A.G.* Technology for obtaining a stimulator of plant growth and development from beef split // Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of reform. St. Petersburg, 2014. No. 2. P. 412...414. – EDN STUJEJ.

49. *Kremenevskaya M.I. Kolesnikov L.E., Razumova I.E.* The influence of a protein stimulant from cattle split on the elements of wheat productivity and intensity of disease development // Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2018, No. 53. P. 80...87.

50. *Polo J., Mata P.* Evaluation of a biostimulant (Peptone) based in enzymatic hydrolyzed animal protein in comparison to seaweed extracts on root development, vegetative growth, flowering, and yield of Gold Cherry tomatoes grown under low stress ambient field conditions // Frontiers in Plant Science. 2018, 8. P. 2261. – DOI 10.3389/fpls.2017.02261.

Рекомендована кафедрой «Технология кожи, меха. Водные ресурсы и товароведение» ВСГУТУ.  
Поступила 07.08.2024.

---