

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

МРНТИ: 577.114.4 (7)
УДК: 678.073

[DOI: 10.4411/s0231-019-472](https://doi.org/10.4411/s0231-019-472)

И.М. Акмалова

*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан
(E-mail: i.akmalova@ttu.edu.kz)*

Использование биополимеров для создания биоразлагаемых материалов

В статье рассматриваются перспективы использования биополимеров для создания биоразлагаемых материалов, которые могут стать экологически устойчивой альтернативой традиционным синтетическим полимерам. Описаны основные типы биополимеров, такие как полилактид (PLA), полигидроксиалканоаты (PHA) и крахмал, а также их физико-механические свойства и способность к биодegradации. Особое внимание уделено проблемам массового внедрения биоразлагаемых материалов, включая вопросы стоимости производства, доступности сырья и технологических ограничений. Также обсуждаются экологические преимущества использования биополимеров, такие как снижение уровня пластикового загрязнения и углеродного следа. В статье проанализированы примеры успешного применения биополимеров в различных отраслях, включая упаковочную индустрию, медицину и сельское хозяйство, а также предложены направления для дальнейших исследований и развития технологий.

Ключевые слова: Биополимеры, биоразлагаемые материалы, полилактид (PLA), полигидроксиалканоаты (PHA), крахмал, биодegradация, экологическая устойчивость, пластиковое загрязнение, углеродный след, упаковочные материалы, зеленые технологии, экология, возобновляемые ресурсы, биоматериалы, снижение отходов, альтернативные полимеры.

Введение

Современное общество сталкивается с одной из самых серьезных экологических проблем – загрязнением окружающей среды, вызванным нерациональным использованием пластмасс и других синтетических материалов. Каждый год миллионы тонн пластиковых отходов оказываются на свалках, в океанах и природных экосистемах, нанося непоправимый вред экологии и здоровью человека. В условиях глобального кризиса, связанного с загрязнением окружающей среды, необходимы новые подходы к разработке материалов, которые могут минимизировать негативное воздействие на природу. Одним из таких подходов является использование биополимеров для создания биоразлагаемых материалов. Данная работа посвящена изучению свойств биополимеров, процессу их преобразования в биоразлагаемые материалы, а также их применению, преимуществам, ограничениям и перспективам развития.

Биополимеры представляют собой полимеры, которые образуются в живых организмах и могут быть получены из возобновляемых источников. К ним относятся такие природные полимеры, как целлюлоза, хитин, крахмал, белки и многие другие. Эти материалы обладают уникальными свойствами, которые позволяют им быть альтернативой традиционным синтетическим полимерам. Например, биополимеры могут быть более безопасными для здоровья человека и окружающей среды, так как они часто не содержат токсичных добавок и могут разлагаться под действием микроорганизмов. Кроме того, биополимеры имеют разнообразные физико-химические свойства, которые могут быть адаптированы под нужды конкретных применений, что делает их многообещающими кандидатами для создания новых экологически чистых материалов.

Процесс создания биоразлагаемых материалов на основе биополимеров включает несколько этапов, начиная от выбора исходного сырья и заканчивая формированием конечного продукта. Важно отметить, что для успешной разработки биоразлагаемых материалов необходимо учитывать не только

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

свойства самих биополимеров, но и технологии их переработки, а также условия, в которых эти материалы будут использоваться. Современные технологии позволяют создавать биоразлагаемые пленки, упаковку, текстиль и даже строительные материалы, которые могут успешно конкурировать с традиционными синтетическими аналогами. Однако, несмотря на все преимущества, с которыми связаны биополимеры, существует ряд ограничений и проблем, которые необходимо решить для их широкого внедрения в промышленность. К ним относятся высокая стоимость производства, ограниченное количество доступного сырья, а также необходимость создания эффективных технологий переработки.

Биополимеры и их производные широко распространены, разнообразны и важны для живых существ, они проявляют особые характеристики и имеют большую важность для разнообразного приложения. Эти свойства и возможность образования этих веществ с использованием возобновляемых ресурсов делают биополимеры популярным инициатива в промышленные приложения. В недавний годы, там имеет был, а увеличивается интерес в использование биоразлагаемых материалов для упаковки, медицины, сельского хозяйства и других областей [1, 2].

Биополимеры состоят из мономерных единиц, ковалентно связанных с образованием макромолекул. Там в первую очередь два класса биополимеров, а именно, природные биополимеры и синтетические биополимеры. Природные биополимеры получают из живых организмов, а синтетические биополимеры представляют собой макромолекулы, синтезированные с биомолекулами. Природные биополимеры далее делятся на полисахариды, белки, полинуклеотиды, полиизопрены, и полиэферы. Синтетические биополимеры может быть классифицировано согласно к способу из подготовка такой как, биополимеры синтезированный к добавлению, и конденсация полимеризация реакция являются перечисленные отдельно [3].

Биокompозит материалы являются материалы, изготовленные из двух или более составляющих биоматериалов, которые приводят к значительным свойствам, чем характеристики отдельных компонентов. Биоразлагаемость и другие свойства биополимеров в значительной степени зависят от структуры полимера. Свойства полимера можно разделить на три основных класса: (1) внутренние свойства, которые присущи самому полимеру; (2) технологические свойства, которые относятся к поведению материала во время формования; и (3) свойства продукта в принципе. определенный к комбинации из внутренних и обработка свойства. практикующий нужно больше подробный информация о обработка характеристики такой как вязкость, таять сила, таять поток индекс на различных этапах производства [4, 5].

Много из приложения из биополимеры может быть найденный в медицинский поле, такой как лекарство системы доставки, хирургические имплантаты, средства для закрытия и заживления ран, обладающие определенными свойствами, такими как биосовместимость, биодegradация до нетоксичных конечных продуктов, высокая биоактивность, низкая антигенность, способность к поддерживать клетка рост и распространение с соответствующий механический свойства, обрабатываемость до сложных форм с соответствующей пористостью, а также сохранение механической прочности. к фильм формирование и барьер характеристики, биополимеры являются широко использовал для приложения включая еду контейнеры, земля удержание листовое покрытие, сельское хозяйство фильм, напрасно тратить сумки и использовать как упаковка материал в целом. Они также популярны в таких областях, как разработка автомобилей, удаление опасных отходов, бумажная промышленность и разработка новых строительных материалов [6].

Введение пористости в биоматериал расширяет сферу его применения. Пористые материалы сделан от биополимеров имея характеристики такой как биосовместимость и биоразлагаемость представляют особый интерес для медицинских, косметических, фармацевтических и других приложений. Трехмерные каркасы для тканевой инженерии, «зеленая» упаковка, матрицы доставки и экологически чистые изоляционные материалы — вот лишь несколько примеров таких приложений.

Общая пористость является одним из важных структурных параметров матрицы, используемой в качестве пористого биоматериала. Общая пористость определяется как отношение общего объема пор к общему (или объемному) объему. Однако, для определенный приложения, общий пористость один делает нет иметь, а прямой влияние на его функции. Поры размер и поры взаимосвязанность являются более важный. Обычно, высокий общий Пористость достигается за счет плохих механических свойств. Внутри пористого биополимера могут быть закрытые (изолированные) поры и открытые (связанные)

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

поры. Взаимосвязь пор важна для доступности газ, жидкость, и твердые частицы подвески. Поры взаимосвязанность является определенным как соотношение из объема пор, доступный из матрицы, окружающей сферу известного диаметра, к общему объему пор [7].

Отдельно от общей пористость и поры взаимосвязанность, поры размер и поры размер распределение есть также важный для большинства виды из приложения. Поры размер <10 мкм, определенный как микропоры и Размер пор >50 мкм, считается макропорами.

Рисунок 1 демонстрирует пористые свойства пористого биоматериала.

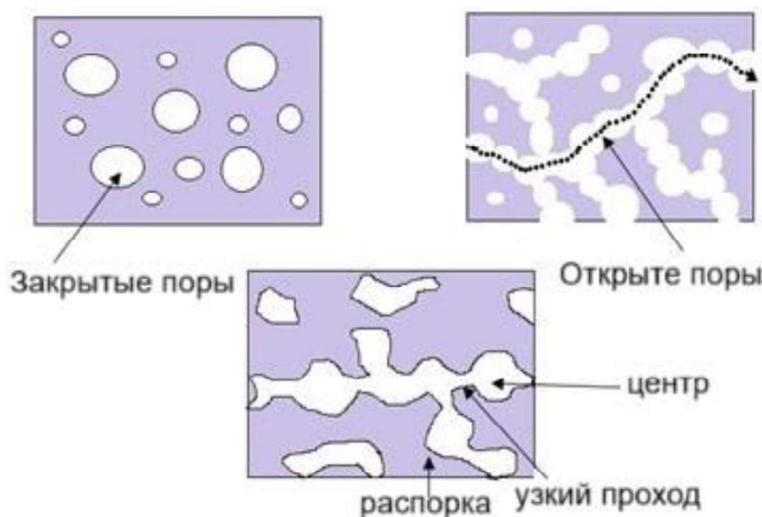


Рисунок 1. Пористый биоматериал.

Микропоры, обычно встречающиеся в стойках из пористых биоматериалов и подключен макропоры, являются часто нерегулярно распределенный вдоль тропа. Поэтому, там являются два отчетливых отверстия, а именно горло и желудок. Поры Морфология оказывает большее влияние на применение в тканевой инженерии, поскольку поведение клеток/тканей при врастании зависит от пористости структура. Если горло размер является очень маленький, клетки и/или ткани являются нет способный к проникать или прорастают в поры. Разработаны различные методы изготовления биоматериалов. Однако некоторые обработка методы делать нет гарантия высокий поры взаимосвязанность и большой горло, даже хотя обеспечивается высокая общая пористость [8].

Пористые каркасы могут быть изготовлены с использованием биополимеров с определенным отношением площади поверхности к объему, кристалличностью, размером пор и пористостью. Трехмерные пористые каркасы с повышенной пористостью, имеющие однородную взаимосвязанную сеть пор, необходимы для приложений тканевой инженерии. Идеальные размеры пор различаются для разных клеток и тканей. Пористые системы с контролируемым высвобождением должны содержать поры, которые достаточно велики для диффузии препарата [9].

Существует множество технологий производства пористых полимеров. Их можно разделить на две категории: разработанные методы производства и не разработанные методы производства. Не разработанные методы производства включают в себя сублимационную сушку или замораживание эмульсии, формование расплава, разделение фаз, литье растворителем или выщелачивание частиц, газовое вспенивание или обработку под высоким давлением, электропрядение и сочетание из этой техники. Разработано производство техника включает в себя 3D-печать, быстрое прототипирование твердых технологий свободной формы. Современный метод создания пористых структур с использованием биоразлагаемых волокон методом электропрядения является последней разработкой в этой области [9].

Физико-химические свойства. Биополимеры представляют собой высокомолекулярные соединения, которые образуются в живых организмах и играют ключевую роль в биологических процессах. Они могут быть классифицированы на три основные группы: полисахариды, белки и

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

нуклеиновые кислоты. В контексте создания биоразлагаемых материалов особое внимание уделяется полисахаридам и белкам, поскольку именно они обладают уникальными свойствами, позволяющими использовать их в качестве основы для разработки экологически чистых и безопасных для окружающей среды продуктов. Физико-химические свойства биополимеров определяются их молекулярной структурой, степенью полимеризации и взаимодействиями между молекулами. Одним из ключевых факторов, влияющих на физико-химические свойства биополимеров, является их гидрофильность или гидрофобность. Полисахариды, такие как крахмал, целлюлоза и хитозан, обладают высокой гидрофильностью, что делает их способными к взаимодействию с водой и другими полярными растворителями. Это свойство является критически важным для многих приложений, включая создание пленок и упаковочных материалов, поскольку оно влияет на водопроницаемость и прочность конечного продукта. Например, целлюлоза, будучи основным компонентом растительных клеток, обладает высокой прочностью и устойчивостью к механическим повреждениям, что делает ее идеальной для использования в упаковке и других промышленных приложениях.

С другой стороны, белки, такие как коллаген, желатин и казеин, имеют более сложную структуру, состоящую из аминокислотных остатков, которые могут образовывать различные вторичные и третичные структуры. Эти структуры определяют не только механические свойства белков, но и их взаимодействие с другими компонентами в композиционных материалах. Например, желатин, получаемый из коллагена, обладает отличной пленкообразующей способностью и может использоваться для создания биоразлагаемых пленок, которые обладают хорошими барьерными свойствами и могут быть использованы в упаковке продуктов питания [9].

Еще одним важным аспектом является термостойкость биополимеров. Многие биополимеры обладают низкой термостойкостью по сравнению с синтетическими полимерами, что ограничивает их применение в высокотемпературных условиях. Однако, модификация биополимеров с помощью различных химических методов может значительно улучшить их термостойкость и механические свойства. Например, кросс-связывание полисахаридов с помощью химических реагентов или физического воздействия может привести к образованию сетчатых структур, которые обладают повышенной прочностью и устойчивостью к термическому разрушению [10].

Важным свойством биополимеров является их биоразлагаемость. Биоразлагаемость определяется способностью материала разлагаться под действием микроорганизмов, таких как бактерии и грибы, в конечном итоге образуя углекислый газ, воду и биомассу. Полисахариды, такие как крахмал и целлюлоза, обладают высокой степенью биоразлагаемости, что делает их идеальными кандидатами для создания экологически чистых упаковочных материалов. В отличие от синтетических полимеров, которые могут разлагаться на протяжении сотен лет, биополимеры могут разлагаться всего за несколько месяцев, что значительно снижает их воздействие на окружающую среду.

Ключевым фактором, определяющим биоразлагаемость, является структура и состав биополимеров. Например, структура крахмала, состоящая из молекул глюкозы, легко расщепляется ферментами, вырабатываемыми микроорганизмами, что способствует его быстрой разложению. В то же время, некоторые полисахариды, такие как лигнин, обладают более сложной структурой и могут быть менее подвержены биоразложению. Это подчеркивает важность выбора подходящих биополимеров для конкретных приложений, учитывая их физико-химические свойства и степень биоразлагаемости.

В дополнение к вышеописанным свойствам, биополимеры также обладают уникальными оптическими и электрическими свойствами. Например, некоторые полисахариды могут проявлять флуоресценцию при определенных условиях, что открывает новые возможности для разработки сенсоров и других оптоэлектронных устройств. Кроме того, биополимеры могут быть использованы в качестве матриц для внедрения различных активных веществ, таких как антиоксиданты или консерванты, что расширяет их применение в пищевой промышленности и медицине.

Механические свойства биополимеров, такие как прочность на сжатие, растяжение и изгиб, также играют важную роль в их применении. Эти свойства зависят от молекулярной массы, степени кристалличности и наличия добавок. Например, целлюлоза обладает высокой прочностью на растяжение, что делает ее идеальной для использования в качестве армирующего компонента в композитных материалах. В то же время, добавление пластификаторов может значительно улучшить

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

гибкость и ударную вязкость биополимеров, что делает их более подходящими для использования в упаковке и других приложениях, где требуется высокая степень деформации.

Таким образом, физико-химические свойства биополимеров, такие как гидрофильность, термостойкость, биоразлагаемость, механические характеристики и оптические свойства, являются ключевыми факторами, определяющими их применение в создании биоразлагаемых материалов. Понимание этих свойств и их взаимосвязи позволяет разрабатывать новые материалы, которые не только соответствуют требованиям безопасности и экологии, но и обладают высокими эксплуатационными характеристиками. В результате, использование биополимеров в различных отраслях, включая упаковку, строительство, медицину и сельское хозяйство, становится все более актуальным и востребованным, что открывает новые горизонты для устойчивого развития и защиты окружающей среды.

Хитозан. Хитозан является производное к деацетилирование из хитина, который является подарком в экзоскелет из ракообразные (такие как как крабы и креветки) и кость пластины из каракатицы и кальмары. Хитин является признанный как второй по распространенности биополимер в природе. Также он является основным компонентом клеточной стенки грибов. Благодаря биологический и механический характеристики из хитозан, это имеет был использовал к производить пудра, гидрогели, мембраны, волокна, пористые каркасы и гранулы, которые были исследованы с использованием различных биологических и медицинских приложений. Высокая приспособляемость хитозана для широкого спектра применений обусловлена высокой степенью химически активных аминогрупп, присутствующих в остатках D -глюкозамина. По сравнению с более высокодеацетилированными хитозановыми каркасами, более низкодеацетилированные хитозановые каркасы обладают меньшими порами размеры, выше механический сила, умеренный припухлость характеристики и больше сотовый деятельность [10]. Структура хитозана показана на рисунке 2.

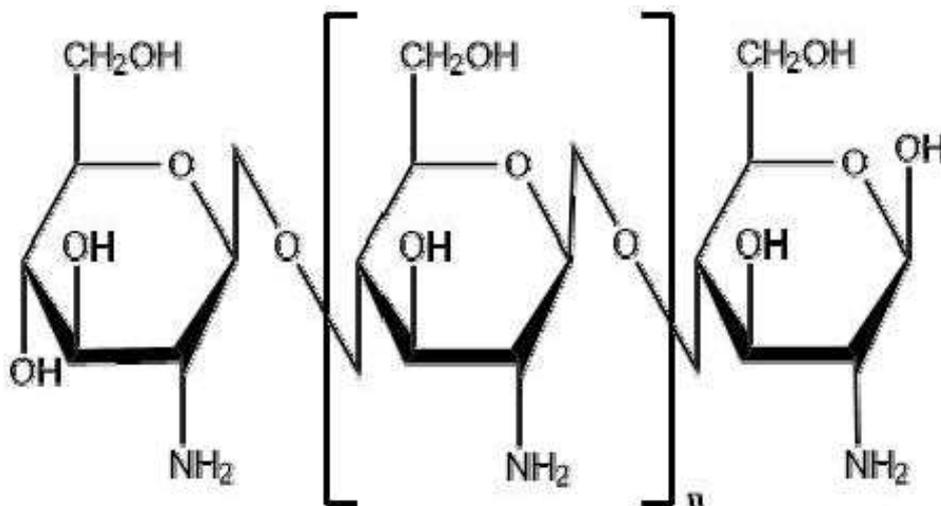


Рисунок 2. Химический структура из хитозан
[поли-(β -1/4)-2-амино-2-дезоксид- D - глюкопираноза].

Хитозан пористый мембраны может быть произведено к быть использовал как леса к термически индуцированный метод разделения фаз, при котором температура понижается до температуры замерзания, чтобы вызвать разделение фаз из полимера. The поры размер из строительного леса разнообразный согласно к температуре и Содержание воды. Низкая температура и высокое содержание воды приведут к уменьшению размеров пор. Гидратированные пористые хитозановые мембраны имеют большую площадь поверхности и объем по сравнению с непористыми хитозановыми мембранами, но их эластичность и устойчивый к дробу является меньше чем непористый мембраны. Устойчивость и эластичность можно улучшить добавлением глутаральдегида, полиэтиленгликоля, гепарина, или коллаген, но этот может делать хитозан нерастворимый в кислота решения и к форме структуры с закрытыми порами.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

Нве, Фуруике и Тамура сообщили что пористость из хитозан леса произведено к грибному мицелию был больше, чем что из хитозан полученный от краба ракушки и кальмар кость пластины. Самую низкую пористость имел хитозан из панцирей креветок. В процессе строительства лесов, когда хитозан растворился с уксусной кислота молекулярный выравнивание исчезнувший и с сублимационная сушка шаг образования водородных связей между полимерными цепями привел к взаимосвязи сети пор. Также было отмечено, что при использовании хитозана с низкой молекулярной массой образуются полигональные поры. и удлиненные поры последовало от хитозан с высокий молекулярный вес. Пористость, поры размер, и модель распределения пор очень повлияло на механические свойства, водопоглощение и паропроницаемость каркаса.

3D микропористый хитозан леса были произведено к растворению хитозан в уксусной кислота, затем перемешивают и, наконец, добавляют раствор в раствор NaOH. Здесь вспенивание достигается механическим перемешиванием без добавления химического вспенивающего агента. Отмечено, что диаметр пор хитозана строительные леса уменьшается с увеличивается перемешивание ставка из образец должный к высокому сдвигу сила принадлежащий гомогенизатор резка голова. Также, поры диаметр уменьшилось с уменьшение концентрация хитозана в растворе. Концентрации растворов хитозана менее 1% снижали вязкость образца для вспенивания и на другой рука концентрации больше чем 3%, вызванный образцы вязкость слишком высокая и прилипает к режущим головкам гомогенизатора, что приводит к трудностям при смешивании [10].

Пористые хитозановые матрицы могут быть использованы для удаления тяжелых металлов из загрязненной воды. Хитозан и хитозан, модифицированный микрочастицами глутаральдегида, были подготовлены для биосорбции Pb(II) и сравнены такие свойства, как морфология частиц, растворимость и характеристики пор. Это является сообщили что глутаральдегид сшитый хитозан производит более взаимосвязанных пор, чем у микрочастиц хитозана. Пористость увеличивается с долей используемого глутаральдегида для сшивания. The пропорция из сшивания агент был найденный к иметь нет влияние на размер частиц. Однако было обнаружено, что морфология поверхности изменилась под действием сшивающего агента.

Формирование из, а непористый кожа слой является, а барьер к клетке рост в салфетка инжиниринг скаффолды. Хитозан гидрогели были сфабриковано с плотный газ CO₂ и пористый структура на вершине, нижний поверхность и в крест разделы были полученный без формирования из, а непористый кожа слой. Должный к высокий пористости, сшитый хитозановый гидрогель, изготовленный в условиях плотного газа, показал более высокий коэффициент равновесного набухания, чем образцы, изготовленные в атмосферных условиях. Гидрогели показали равновесные коэффициенты набухания $17,2 \pm 0,8$ и $10,3 \pm 0,4$ в условиях плотного газа и атмосферных условиях соответственно.

Низкий вязкость и высокий диффузионность из сверхкритический CO₂ предложения изготовление из высоко пористый тканевая инженерия скаффолды. Хитозан гидрогель был сфабриковано с использованием сверхкритический CO₂ для имплантации клеток остеобластов. Гидрогель, изготовленный при 250 бар, 45 °C, 2 ч при скорости потока CO₂ 5 г/мин, дал 87,03% пористость который был похожий к лиофилизации (88,68%) прооперирован в 55 °C для 48 ч. Даже Хотя пористость одинакова для обоих условий, изготовление с использованием сверхкритического CO₂ оказалось более эффективным с точки зрения затрат времени и энергии.

Макропористый хитозан леса были развитый к нагрузке или с кость морфогенетический белки (BMP-2) или инсулиноподобный фактор роста (IGF-1) для изучения свойств заживления костей *in vivo*. Пористость создавалась путем механического перемешивания раствора хитозана с помощью гомогенизатора и переноса пузырился решение в натрий гидроксид решение к руководить жидкость закалка процесс. Хитозановый каркас с поры размеры от 70 к 900 мкм был полученный с использованием жидкость закалка метод. The эффективность поглощения из ИФР-1 и БМП-2 был найденный к быть $90\% \pm 2\%$ и $87\% \pm 2\%$, соответственно. В *in vivo* Исследования показали, что хитозановые каркасы, нагруженные IGF-1, показали значительную остеобластную дифференциацию, чем хитозановые каркасы, нагруженные BMP-2

Целлюлоза. Целлюлоза является большинство обильный органический полимер на землю. Это является, а важный структурный компонент первичной клеточной стенки растительных клеток и тканей. Строительным блоком полимера целлюлозы является моносахарид глюкоза молекулы.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

Полимер состоит из повторной глюкозы единицы прикрепил вместе β -1,4-гликозидными связями, как показано на рисунке 3, β -1,4-гликозидная связь образуется путем ковалентного связывания кислорода с C1 одного глюкозного кольца и C4 соединительного кольца. Три гидроксильные группы, содержащиеся в повторяющемся звене, и их способность образовывать водородные связи между цепями целлюлозы отвечают за физические свойства целлюлозы.

Целлюлоза может быть синтезированной к грибам и некоторый разновидность из бактерии (Ацетобактерии ксилин). Бактериальная целлюлоза по химической структуре похожа на растительную целлюлозу, но в ней отсутствуют молекулы-загрязнители (лигнин и гемицеллюлозы). Следовательно, не требуются интенсивные методы очистки. В связи со значимостью из механической сила и биосовместимость, целлюлоза является широко использовал в салфетка инженерные приложения.

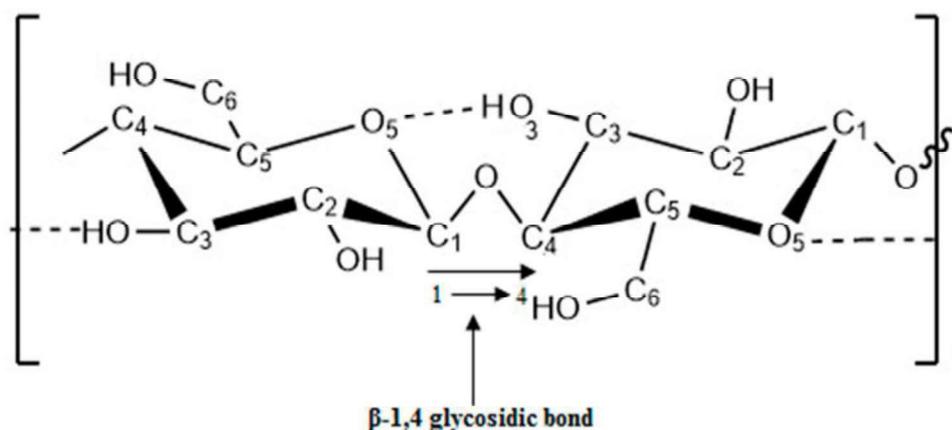


Рисунок 3. β -1,4 гликозидный связь из целлюлозы, единица.

Целлюлоза используется в качестве сырья в таких отраслях, как ветеринария, пищевая промышленность, производство волокон, текстильная промышленность, деревообработка, бумажная промышленность, косметический и фармацевтические препараты. Производные из целлюлозы также играть, а главный роль в приложения волокна, текстиль, покрытия, термопластик, пленки, фармацевтический технологии и как еда добавки.

Разработка из высоко пористой структура в целлюлоза является важным потому что из их потенциала использование в биомедицинских приложениях, фильтрации, контролируемом потоке жидкостей, авиационной, автомобильной, строительной и упаковочной промышленности.

Пены являются закрыто поры структуры с присутствие из полости что являются нет взаимосвязаны. Эти пены структуры использовал к усилить легкость, влияние сила, мягкость, и термический изолирующий свойства в автомобильный, самолет, здание и упаковка промышленности. пористой структура может быть произведено путем введения вспенивающего агента в раствор полимера. Сверхкритический CO₂ широко используется в медицинских целях, поскольку CO₂ может быть полностью удален из продукта. В сверхкритическом процессе CO₂ быстрый разгерметизация ставки причина однородный поры распределения с закрыто поры. Уменьшение разгерметизация ставки воля производить широкий и большой поры размер распределения, и более взаимосвязанные поры.

Прямой добавление из антимикробный агенты к исходный еда формулировки может снижаться его концентрации на его поверхность должный к его диффузии в внутренней части из еды. Также, это может причина нейтрализация агента за счет взаимодействия с компонентами пищи. Контролируемое высвобождение антимикробного агента может быть достигнуто путем его загрузки в упаковочный материал для пищевых продуктов. Балдино и др. изготовили антимикробную мембрану из ацетата целлюлозы, используя сверхкритический CO₂ в качестве порообразующего агента. Ацетат целлюлозы растворялся с антимикробным агентом, помещенным в сосуд для подготовки мембраны и заполненным сверхкритическим CO₂. Затем сосуд промывали CO₂ и сбрасывали давление в течение

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

примерно 30 минут. Они наблюдали, что средний размер пор уменьшался с увеличением рабочего давления. Также наблюдалось, что размер пор уменьшался с уменьшением рабочей температуры.

Сублимационная сушка процесс и введение из поры формирование химикаты были успешно проверено для создания из пористой структура в целлюлоза материалы для здания изоляция приложения. The Введение различных веществ, которые производят CO₂, таких как пивные дрожжи, разрыхлитель и NaHCO₃, было протестировано на предмет образования пены в целлюлозных матрицах. Пористые структуры в целлюлозных изоляционных материалах были также получены путем сублимации воды в процессе сублимационной сушки.

Трехмерный макропористый каркас из бактериальной целлюлозы был разработан для культивирования клеток рака молочной железы, а поры с рисунком были созданы с помощью инфракрасного лазера. Различные размеры пор были способный к изготовить к регулировке расстояние между образцы и лазер фокус. В факт, поскольку раковые клетки были крупнее клеток ткани, была получена удовлетворительная биосовместимость с макропористым каркасом, полученным из бактериальной целлюлозы.

Коллаген. Коллаген является большинство обильный структурный белок в позвоночное тело. Оно является, а главный компонент соединительных тканей, кожи, костей, хрящей и сухожилий. Более того, коллаген является наиболее распространенным белком тип из внеклеточный матрица из подключения ткани, который обеспечивает структурный честность и придал механические и биохимические свойства. В настоящее время идентифицировано 28 типов коллагена, и среди эти, доминирующий коллаген подарок в внеклеточный матрица, в ткани такой как кожа, сухожилие и кость является тип I коллаген. Тип II коллаген, найденный в хрящ и тип III, происходит в кожа взрослого человека.

Коллаген белок имеет, а сложный иерархия из структурного заказа в начальный, вторичный, третичный и четвертичные структуры. В начальный структура, каждый третий аминокислота является, а глицин, с строгий повторяющийся как показано в рисунке 4. 35% из не глициновой позиции в повторяющийся единица являются состоять из пролин, в основном, находится в α -положении, а 4-гидроксипролин, преобладающий в β -положении. Во вторичной структуре, глицин и гидроксипролин единицы вести к форме, а спиральный макромолекула. В третичной структура, три спиральный единицы крутить к форме, а правша тройная спираль коллаген молекула как показано в Рисунок 4 б). В четвертичной структура, тройная спираль коллаген молекулы шататься в фибриллы, который затем согласованный в волокна или даже более крупные пучки волокон, как показано на рисунке 4 в).

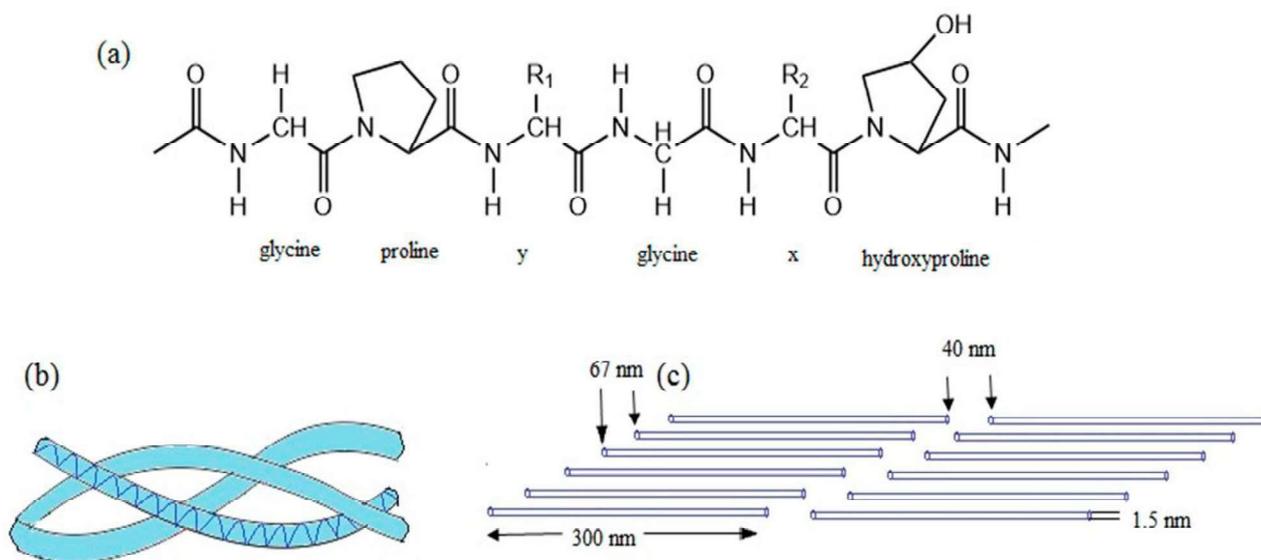


Рисунок 4. Химическая структура коллагена типа I (а) Первичная аминокислотная последовательность; (б) вторичная левозакрученная спираль и третичная правозакрученная тройная спираль; (в) ступенчатая четвертичная структура.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

Коллаген является важным как, а биоматериал для различного приложения должный к его специфической характеристике такие как распространенность, биосовместимость, высокая пористость, простота обработки, возможность комбинирования с другими материалами, низкая антигенность, гидрофильность и всасываемость в организме. Коллаген может быть переработан в различные формы, такие как листы, губки, трубки, флисы, порошки, инъекционные растворы и дисперсии, которые затем могут использоваться в качестве систем для доставки лекарств, строительных материалов, способствующих миграции клеток, заживлению ран и регенерации тканей. Были разработаны различные методы модификации технологических характеристик коллагена, включая развитие пористости, для соответствия широкому спектру применений.

Кен и др. разработали пористый коллагеновый каркас с использованием частиц льда в качестве шаблонов. Шаблоны были приготовлены путем диспергирования капель воды на охлажденной медной пластине, обернутой перфторалкокси-фильмом. Лед шаблоны были охлажденный к -5°C и введен коллаген решение с последующим постепенный замораживание к -5°C . Окончательно, лед кристаллы были удаленный к сублимационная сушка и были получены микроструктурированные поры. Были получены два типа пор; один из них является негативной репликой ледяных шаблонов и другой является от льда кристаллы развитый от сублимационная сушка. Поры размеры были способный к контролю к Температура замерзания. Снижение температуры замерзания привело к образованию каркасов с меньшими порами.

Коллагеновый каркас с контролируемыми свойствами высвобождения инсулина был разработан методом сублимационной сушки для инженерии хрящевой ткани. Инсулин был микроинкапсулирован с поли (молочной- со -гликолевой кислотой) бусины и введен к коллаген водный Решение. Приготовлено лед твердые частицы были добавлен в раствор смеси коллагеновых гранул и подвергаются сублимационной сушке для получения необходимого размера пор каркаса. с взаимосвязаны поры структура был полученный с поры размеры эквивалент к лед твердые частицы. Лекарство выпускать исследования раскрытый что строительные леса выставленный, а ноль заказ выпускать кинетика из инсулина вверх к периоду 4 недели.

Высоко пористый гидрогель с улучшенной соль и pH сопротивление характеристики был приготовлено с использованием гидролизованного коллагена как позвоночник из гидрогель. Акрил кислота и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновая кислота были полимеризованы и сшиты для гидролиза коллагена позвоночник. пористый структура был достигнуто к частично нейтрализующий привитый полимер после образования геля. Поры образовались в геле из-за испарения воды в результате нейтрализации тепла.

Методы и материалы

Методы изготовления пористых материалов на биооснове больше связаны с выбором материала. Их можно разделить на три основных типа. Во-первых, натуральные полимеры, такие как коллаген и хитозан, чувствительны к теплу, поэтому для создания пористости в основном используется сублимационная сушка, хотя электропрядение также возможно. Во-вторых, синтетические полимеры, такой как Партизанская армия народного освобождения и НОАК, часто известный как термопластов, поэтому их можно изготавливать с помощью самых разных технологий. Биокерамику, такую как гидроксипатит трикальцийфосфат, обычно вводят в качестве добавок в полимерные матрицы, так как, чистые керамические матрицы страдают от низкой твердость. Сублимационная сушка, может быть, использовал к изготовить чистый керамика биоматериалы, но этот потребности использовать из спекания как, а постобработка шаг, который ведет к дополнительный пористость внутри стенок матрицы. Технологии изготовления пористых материалов можно разделить на две категории: разработанные технологии производства и не разработанный производство техники. Разработанный производство техника включает в себя 3D-печать, быстрое прототипирование твердых технологий свободной формы. Нестандартные технологии производства включают сублимационную сушку или замораживание эмульсии, литье растворителя или выщелачивание частиц, газовое вспенивание, разделение фаз, электропрядение и комбинацию этих технологий.

Растворитель Кастинг и Частицы Выщелачивание. Литье растворителем и выщелачивание частиц — один из самых простых и дешевых способов изготовления пористых каркасов. Рисунок 5

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

показывает подробный процесс технологии изготовления методом литья в растворитель-выщелачивания частиц. Сначала полимер растворяется в органическом растворителе. Затем в раствор добавляются частицы, в основном водорастворимые соли (например, хлорид натрия, цитрат натрия) с определенным размером. После этого смесь заливается в форму желаемой формы. Затем растворитель удаляется либо путем лиофилизации или испарение и допустимый соль частицы выщелоченный в полимер матрица. Наконец, форма погружается в водяную баню на время, достаточное для растворения частиц соли, выщелоченных внутри полимерной матрицы. Пористость и размер пор можно легко контролировать количеством и размером частиц соли, добавляемых в матрицу. Однако трудности, возникающие при удалении выщелоченных частиц соли из матрицы, ограничивают толщину матрицы 0,5–2 мм.

Взаимосвязанные пористый хитозан строительные леса был готовый с использованием натрий ацетат твердые частицы Метод выщелачивания. Натрий ацетат был смешанный с хитозан решение и впрыскивается в плесень. Тогда Форма была подвергнута сублимационной сушке и лиофилизации для испарения растворителя. После этого ее последовательно промывали серией растворов этанола (100%, 90%, 80%, 70% и 50% об. / об.) в течение 2 часов каждый и выщелачивали солью в дистиллированной воде в течение 48 часов.

Окончательно, лиофилизированный при температуре -70°C в течение 24 часов и лиофилизированный в течение 24 часов. Было замечено, что пористость и взаимосвязанность пор увеличиваются с увеличением содержания ацетата натрия. Более того, при 90%-ном содержании ацетата натрия между основными порами (200–500 мкм) образовалось множество мельчайших пор (7–30 мкм).

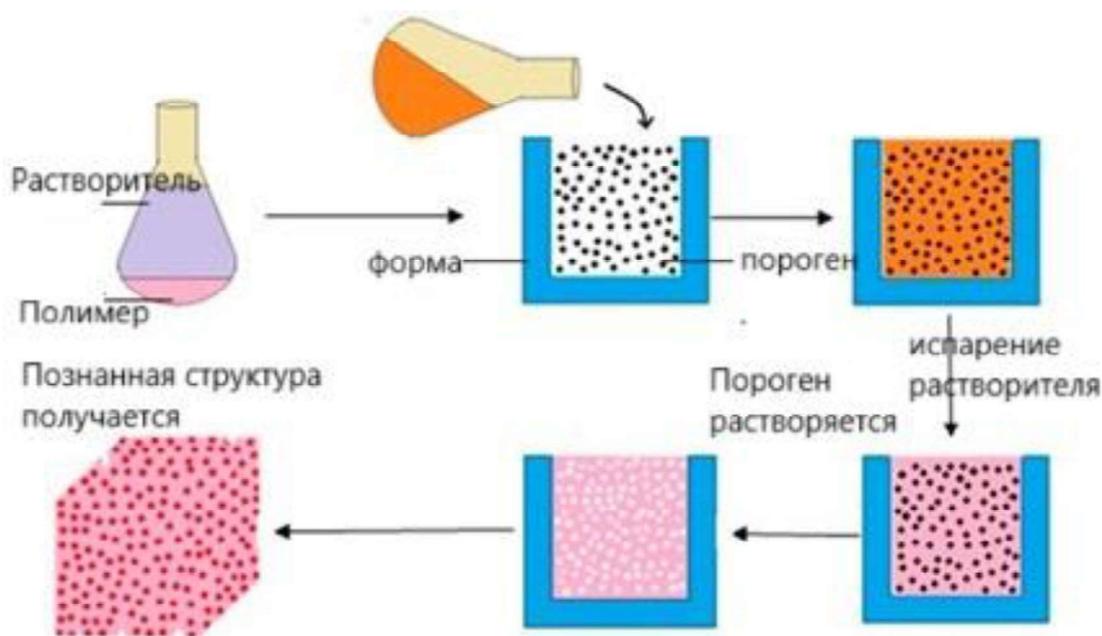


Рисунок 5. Схема диаграмма из растворителя литье и твердые частицы выщелачивание техника.

Термически индуцированный фаза разделение. Термически индуцированное фазовое разделение является простым и универсальным методом приготовления микропористых мембран. Этот метод включает растворение полимера в определенном растворителе, имеющем, а высокий кипящий точка и низкий молекулярный масса в повышенный температура к форме, а однородный раствор. Затем горячий полимер решение является бросать на а форма последовало к а охлаждение шаг. При охлаждении гомогенного раствора при высокой температуре происходит затвердевание и разделение фаз на фазу, богатую полимером, и фазу, бедную полимером. После удаления растворителя путем экстракции или сублимационной сушки образуется микропористая структура. Этот метод применим для широкого спектра полимеров, в том числе и тех, которые имеют плохую растворимость. Процесс термически индуцированного разделения фаз, может быть, использовал к генерировать макрос и микропористый структура с а общий пористость как высокий как

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

90%.

Поскольку этот метод имеет меньше влияющих факторов, таких как разбавитель, скорость охлаждения, концентрация полимера и добавки, он позволяет легко контролировать структуру мембраны. Поскольку разбавитель тесно связан с разделением фаз, различные разбавители вызывают различные структуры пор. Преимуществами этого метода являются простота процесса, высокая воспроизводимость, низкий уровень дефектов, высокая пористость и узкое распределение размеров пор.

Нано-гидроксиапатит/поли (L -молочная кислота) был разработан для инженерии костной ткани, а также морфологии, механических свойств и способности композита адсорбировать белки. Леса были исследованы. Пористость более чем 90% была легко достигнута и размеры пор можно было регулировать, изменяя параметры разделения фаз.

НОАК/НОАК леса были готовы с помощью термически индуцированного фазового разделения, начиная от тройной системы, в которой диоксан является растворителем, а вода — нерастворителем. Пористость была в пределах от 87% к 92%. Средний размер пор, распределение пор, взаимосвязанность и механические свойства зависели от сочетания рабочих условий, таких как соотношение растворителя и нерастворителя, концентрация полимера, температура и время смешивания [80].

Газ вспенивание. Газ вспенивание является существованием и использовался для изготовления полимеров с высокой пористостью без использования любого органического растворителя. В этой технологии используется CO_2 под высоким давлением для насыщения полимера в изолированной камере в течение определенного периода времени. Для насыщения полимера требуется CO_2 под высоким давлением (56,25 килограмм-сила/см²). Когда полимер является насыщенным с CO_2 в высоком давлении, межмолекулярное взаимодействие между CO_2 и молекулами полимера усиливается, что приводит к снижению температуры стеклования из полимера. Стремительная разгерметизация приводит к термодинамической нестабильности и ведет к созданию пор внутри полимерной матрицы. Эта техника является подходящей для аморфных и полукристаллических полимеров с относительно низкой T_g или T_m и высоким сродством к CO_2 . Выщелачивание этих частиц соли образовало взаимосвязанные открытые пористые структуры в полимерной матрице. Пористость, взаимосвязь пор можно контролировать, изменяя соотношение соли/полимера и размер частиц из соли частицы [85, 86]. Рисунок 6 отображает схему диаграммы из Газ CO_2 вспенивание устройства.

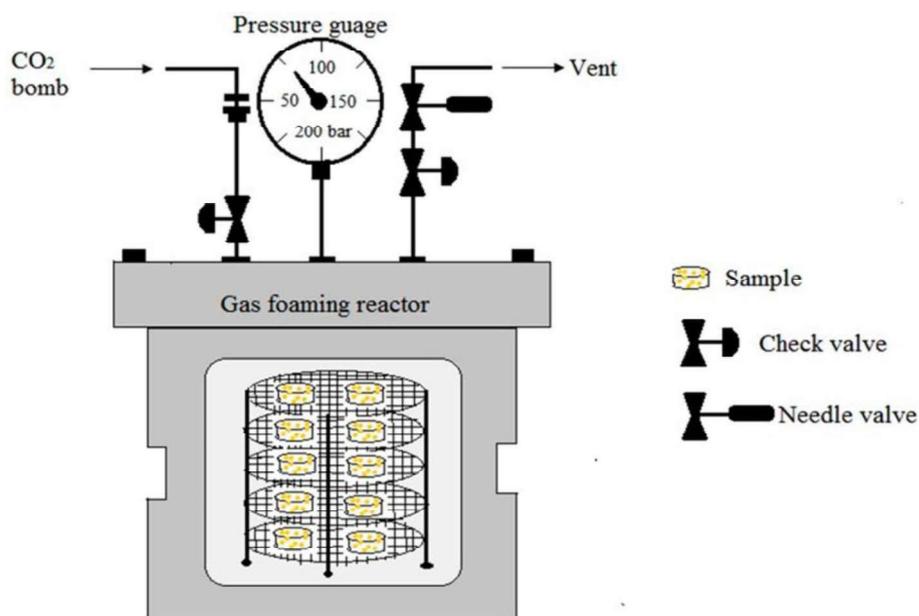


Рисунок 6. Схема устройства CO₂ газ вспенивателя

Эмульсия сублимационная сушка. При этом методе полимер растворяется в растворителе и

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

добавляется вода. Затем раствор полимерного растворителя и вода гомогенизируются до образования эмульсии. Перед разделением двух фаз эмульсия является быстро охлажденной к замку в жидкость состояние структура. Окончательно, растворитель и вода удалены сублимационная сушка. Рисунок 7 показывает схема диаграмма из эмульсия сублимационная сушка процесс. Этот метод может быть использован для получения уровня пористости выше 90% и для контроля размера пор для целевого применения. Пористость и структуру пор можно контролировать с помощью концентрации полимера, растворителя и воды. фаза процент, и сублимационная сушка параметры. Этот техника является выгодный. Однако из-за отсутствия этапа выщелачивания добавление органического растворителя вызывает опасения при использовании в тканевой инженерии.

Композитный каркас из гидроксиапатита/поли (гидроксибутират- ковалерата) был изготовлен с помощью эмульсия замораживание/сублимационная сушка процесс и эффект из полимера решение концентрация, растворитель и водной фазы на морфологию композитного каркаса. Было замечено, что при одинаковой объемной доле водной фазы пористость скаффолдов уменьшалась с увеличением полимер концентрация. Когда объем дробь из воды фаза был повысился, было обнаружено, что пористость увеличилась. Сообщалось, что полученные каркасы были высокопористыми и имели взаимосвязанные пористые структуры. Размеры пор в скаффолдах варьировались от нескольких микрометров до примерно 300 мкм.

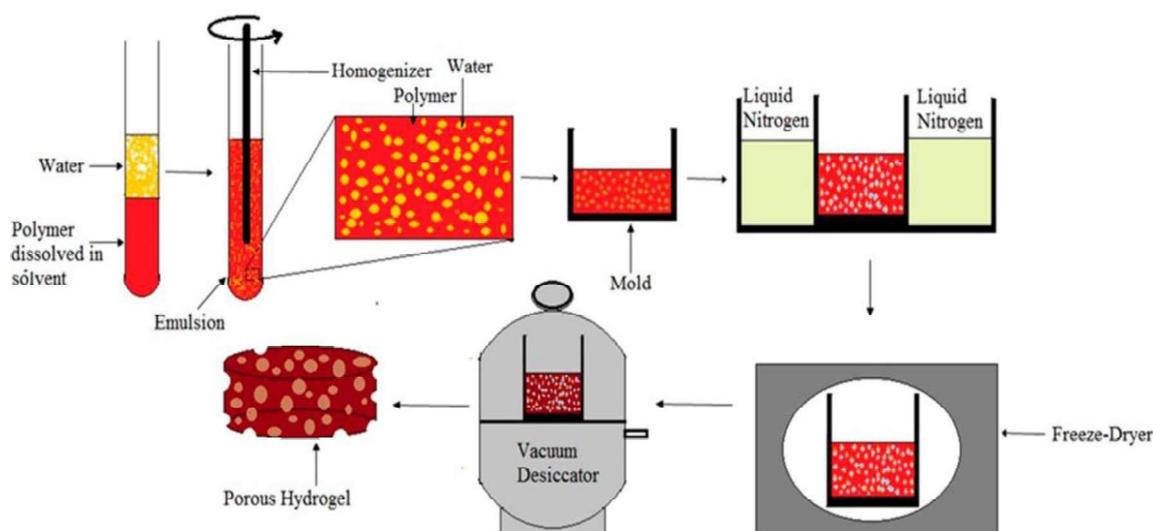


Рисунок 7. Диаграмма процесса эмульсия сублимационная сушка.

Стремительный прототипирование техника. Стремительный прототипирование, в целом известный как твердый свободная форма изготовление техника и один из наиболее перспективной методы проектирования и производства каркасов со 100% взаимосвязанными порами, полностью управляемой компьютером архитектурой с высокой пористостью. Присущие им ограничения, такие как длительные периоды изготовления, неполное удаление остаточных химикатов или летучих порогенных элементов, трудоемкость процессы, бедный повторяемость, недостаточный взаимосвязанность из поры и тонкий стена структуры, нерегулярно в форме поры, из общепринятой методы иметь вел к использовать стремительный прототипирование методы для настроить дизайн и изготовить 3D пористый леса. Все текущий стремительный прототипирование Методы основаны на использовании информации, полученной с помощью компьютерного проектирования, которая преобразуется в тип стереолитографии. файл формат. Стремительный прототип машина программное обеспечение процессы этот файл к производить, а твердый модель с помощью различных процессов. Начиная снизу, создается первый слой физической модели. следующий слой является склеенный или связанный к предыдущий слой. Этот процесс является продолжение до весь модель это завершено. Любой поддерживает являются удаленный от законченный поверхность модель и очищенный. Рисунок 8 отображает схема диаграмма из стремительный прототипирование техника.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

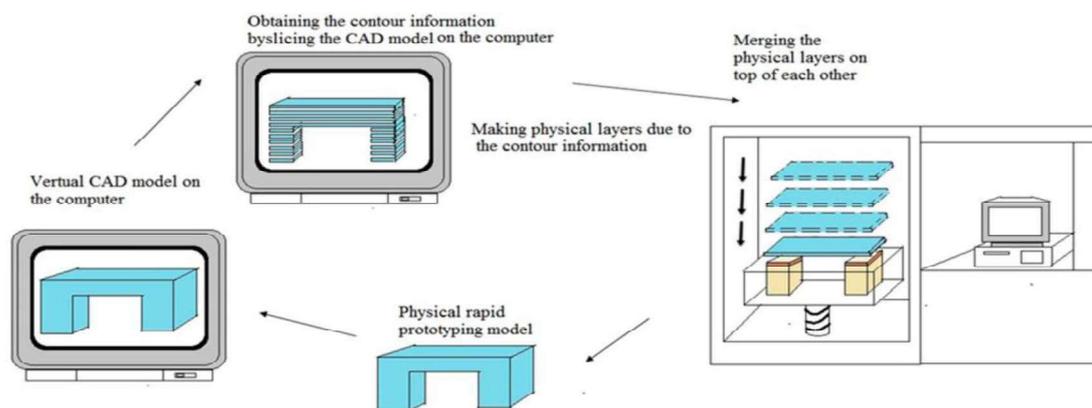


Рисунок 8. Диаграмма из стремительный прототипирование техника.

Основной преимуществами из стремительного процесса прототипирования являются стремительный обработка время, настройка и эффективность. Ограничения из этой методы высокие машина расходы, высокий обработка температуры ограничение способность к процессу полимеры, чувствительные к температуре, и необходимость междисциплинарного сотрудничества.

Гибридные каркасы из поли (L -лактида)/хитозана были разработаны с использованием метода быстрого замораживания прототипов. Это был найденный что механический характеристики из леса зависеть на соотношение из хитозановые микросферы поли (L -лактид) и криогенная температура, используемые в процессе изготовления прототипов методом быстрого замораживания. Результаты показали, что каркасы с большей пористостью и улучшенным распределением размеров пор по сравнению с методом быстрого прототипирования на основе дозирования.

3D Печать. 3D-печать, также известное как аддитивное производство, и струйный используется жидкое связующее вещество для печати для создания трехмерного объекта из данных цифровой модели. Эта техника включает печать жидким связующим веществом к связывать свободный пудра к создавать 3D объекты. Так как биоматериалы широко существовать как твердый или жидкая форма, большинство из их может быть напрямую использованный в этот технологии. The первый шаг из 3D печать является моделирование виртуальной модели из программного обеспечения автоматизированного проектирования (САПР) или анимационного моделирования. Машина использует эти данные как а руководство к печать.

Затем, а тонкий слой из пудры является депонированный на строительная платформа. На этапе печати машина считывает дизайн с данных цифровой модели, а печатающая головка выборочно наносит жидкий связующий раствор на порошковый слой, формируя двухмерный рисунок. Этот процесс повторяется слой за слоем до тех пор, пока не будет завершено наложение слоев материала/связующего и не будет напечатана окончательная 3D-модель.

Окончательные объекты извлекаются из порошкового слоя путем удаления или растворения несвязанного порошка. Размер пор и расстояние между ними можно контролировать с помощью используемого рисунка. Преимуществом 3D-печати является контроль размера и распределения пор. Технологии быстрого прототипирования (RP) и 3D-печати создают модели слой за слоем с использованием автоматизированного проектирования. Но все еще есть некоторые различия, такие как 3D-принтеры обычно изготавливают более мелкие детали, 3D-печать стоит дешевле, меньше материала выборы для 3D принтеры, 3D принтеры являются меньше сложный и полегче к использовать чем стремительный Машины для прототипирования.

Цилиндрический леса из пять другой конструкции были сфабриковано с использованием, а уникальный смешивать из полимерных порошков на основе крахмала (кукурузный крахмал, декстран и желатин) с помощью процесса 3D-печати. Было отмечено, что каркас пористость переписывался к разработанный пористости. А уникальный микропористость в результате должный к пустоты сформированный между гранулы или частицы из массы материал. Микропористость из леса из всех конструкции оказались в диапазоне 0,335–0,590. Высококо связанная пористая сеть с подходящими механическими свойствами была изготовлена с использованием процесса 3D-печати.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

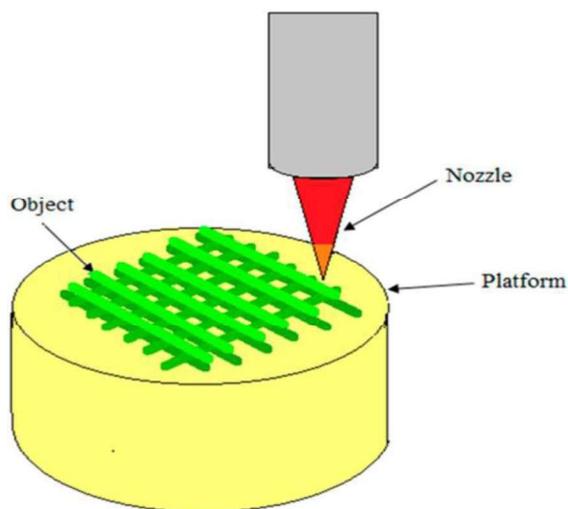


Рисунок 9. The схема диаграмма из 3D печать техника.

Рисунок 11 отображает принципиальную схему технологии быстрого прототипирования.

Для преодоления ограничений прямого метода был использован протокол не прямой 3D-печати. Подготовка из пористого леса. 3D структуры были сфабриковано к струйный печать жидкость капли связующего вещества на твердые частицы. В протоколе не прямой 3D-печати печатаются формы и конечные материалы являются бросать в форма полость. Сканирование электрон микрофотографии показал, что хорошо Взаимосвязанная, высокооткрытая, однородная архитектура пор (~100–150 мкм), которая необходима для равномерного засеивания клеток, пролиферации, роста и миграции в трех измерениях.

Электропрядение техника. А сочетание из два методы, а именно электрораспыление и спиннинг является применяемый в техника электропрядения к форма свободно подключен 3D пористый коврики с высокий пористость и высокий поверхность область. А сильное электрическое поле прикладывается к жидкости или расплаву, который может выдавливаться из металлической иглы шприца и действовать как один из электродов, как показано на рисунке 10.

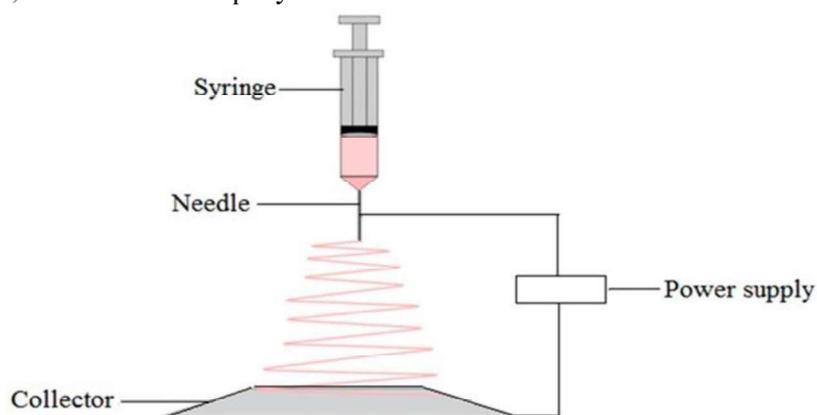


Рисунок 10. Принцип работы принтера

Когда электростатические силы преодолевают силы поверхностного натяжения жидкости, капля достигает конца иглы и деформируется. Затем тонкая заряженная струя полимерного раствора выбрасывается из кончика иглы к противозлектроду, что приводит к образованию непрерывных волокон. Диаметр волокон и пористость матрицы зависят от параметры такой как Напряжение,

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

полимер поток ставка, расстояние между иголки и пластины и концентрации полимера в растворе. В этой технике можно использовать широкий спектр полимеров. такой как синтетический полимеры, естественный полимеры или, а смешивать из оба. большинство важный вещь в электропрядение является что это может быть использовал с различный полимеры, оба в решение и таять форма. При электропрядении расплава не требуется растворение полимера в органическом растворителе, поэтому он безопасен для окружающей среды и не приводит к потере массы из-за испарения растворителя. Электропрядение можно использовать к инкапсулировать наркотики к волокну. Также, этот техника является большинство экономичный способ из производства нановолокон. Недостаток ехника является ограниченный контроль из поры размер. The поры размер из матрицы зависит от диаметра волокна. Волокна с меньшим диаметром приводят к образованию меньших средних размеров пор. К преодолеть этот ограничение, а двойной электропрядение настраивать имеет был развитый с дополнительный поток полимера, который действует как жертвенное волокно для увеличения пустотного пространства в матрице.

Пористый каркас, состоящий из биополимерных нановолокон, является одним из наиболее перспективных кандидатов для салфетки инжиниринг приложения. Несмешиваемый биополимеры из желатин и поликапролактон были первый электропрядильный к форма композитный волокно из желатин/поликапролактон. А выщелачивание метод был унесенный из генерировать пористый нановолокна к выборочно удалять вода растворимый компонент из желатин. После выщелачивание уход канавки, хребты, и эллиптический поры были появился на поверхность как хорошо, как внутри полученных отдельных нановолокон.

Электропрядение поли (ϵ -капролактон)/хитозан нановолокна были готовый к изучать э ф ф е к т ы хитозан концентрация на б ы ч и й сыворотка альбумин (BSA) белок выпускать поведение. Поли (ϵ -капролактон) (ПКЛ) и хитозан нановолокна с другой соотношения из хитозан были электропрядение с с использованием муравьиный кислота/уксусная кислота растворитель система. Основанный на на сканирование электрон микрофотография изображения, с увеличивается хитозан содержание в нановолокно выставленный, а выше волокно диаметр и поры размер. Кроме того, по сравнению с нановолокнами PCL/хитозан, нановолокна PCL/хитозан/BSA показали более высокую волокнистость диаметр и больше поры размер. Результаты показал, что хитозан соотношение затронутый существенно в Профиль высвобождения белка из смеси PCL/хитозан/BSA [10].

Результаты и обсуждение

Заключение данной работы на тему «Использование биополимеров для создания биоразлагаемых материалов» подводит итоги исследования, охватывающего широкий спектр аспектов, связанных с биополимерами и их применением в производстве экологически чистых, биоразлагаемых материалов. В ходе работы было рассмотрено множество ключевых вопросов, начиная от свойств биополимеров и заканчивая их перспективами в будущем.

Биополимеры представляют собой уникальную группу материалов, которые отличаются от традиционных полимеров своей природной основой и способностью к разложению под действием микроорганизмов. Они образуются из биомассы и могут быть получены из различных источников, включая растительные, животные и микробные. Это свойство делает их особенно привлекательными в контексте современных экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами. В процессе исследования было установлено, что биополимеры обладают рядом уникальных свойств, таких как высокая биосовместимость, низкая токсичность и возможность переработки, что открывает новые горизонты для их применения в различных отраслях.

Процесс создания биоразлагаемых материалов на основе биополимеров включает несколько этапов, начиная с выбора исходного сырья и заканчивая формированием конечного продукта. В ходе работы было подробно рассмотрено, как различные технологии, такие как экструзия, литье и 3D-печать, могут быть адаптированы для работы с биополимерами. Эти технологии позволяют создавать материалы с заданными свойствами, которые могут использоваться в упаковке, строительстве, медицине и других областях. Например, биоразлагаемые упаковочные материалы, созданные на основе крахмала или полимолочной кислоты, становятся все более популярными благодаря своей способности разлагаться в естественных условиях, что значительно снижает нагрузку на экологию.

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

Применение биоразлагаемых материалов имеет множество преимуществ. Во-первых, они способствуют снижению объема отходов, которые накапливаются на свалках и в океанах. Во-вторых, использование биополимеров позволяет уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов, таких как нефть, что является важным шагом к устойчивому развитию. Биоразлагаемые материалы также могут иметь положительное влияние на здоровье человека, так как многие из них не содержат токсичных добавок, которые могут выделяться из традиционных пластиковых изделий. В результате, переход на биоразлагаемые материалы может способствовать улучшению качества жизни и здоровья населения.

Однако, несмотря на все преимущества, использование биоразлагаемых материалов сталкивается с рядом ограничений и проблем. Одной из основных трудностей является высокая стоимость производства биополимеров по сравнению с традиционными пластиковыми изделиями. Это может ограничивать их внедрение на массовом рынке, особенно в условиях экономической конкуренции. Кроме того, не все биополимеры обладают достаточной прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям, что может ограничивать их применение в некоторых сферах. Также следует учитывать, что процесс разложения биоразлагаемых материалов может варьироваться в зависимости от условий окружающей среды, что иногда приводит к непредсказуемым последствиям.

Перспективы развития биоразлагаемых материалов выглядят многообещающими. С каждым годом растет интерес к экологически чистым технологиям, и многие компании начинают инвестировать в исследования и разработки в этой области. Ученые работают над созданием новых видов биополимеров, которые будут обладать улучшенными свойствами, такими как повышенная прочность, термостойкость и устойчивость к влаге. Кроме того, развитие технологий переработки и утилизации биоразлагаемых материалов может значительно улучшить их жизненный цикл и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

В заключение, использование биополимеров для создания биоразлагаемых материалов представляет собой важный шаг на пути к устойчивому развитию и решению проблемы загрязнения окружающей среды. Несмотря на существующие ограничения и проблемы, потенциал биоразлагаемых материалов огромен. Они могут стать ключевым элементом в переходе к более экологически чистым технологиям и способствовать созданию более безопасного и здорового будущего для всех. Исследования в этой области продолжаются, и с каждым годом мы становимся все ближе к созданию эффективных и доступных решений, которые помогут нам справиться с вызовами, стоящими перед человечеством в XXI веке.

Список литературы

- 1 Александров Д. В., Гаянова К. Р., Нуруллина А. Р. Актуальность использования биоразлагаемых полимеров // Секция 4.1. пути совершенствования военной подготовки в институте военно-технического образования. – 2020. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44579381_93509499.pdf#page=175 (дата обращения: 15.09.2024).
- 2 Аббасов И. Б. Применение некоторых биоразлагаемых полимеров в медицине. – 2023. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50389132_34545876.pdf (дата обращения: 15.09.2024).
- 3 Алехина Р. А., Славкина В. Э., Лопатина Ю. А. Возможности применения биоразлагаемых полимерных материалов в аграрном секторе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67. – №. 2. – С. 115-120. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43061944> (дата обращения: 15.09.2024).
- 4 Балабанова А. А. Создание биоразлагаемых полимерных материалов как способ решения глобальной экологической проблемы // Биохимическая физика. – 2021. – С. 19-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47499332> (дата обращения: 15.09.2024).
- 5 Балов А., Ашпина О. Мировой рынок биополимеров // The Chemical Journal. – 2012. – №. 3. – С. 48-53. URL: https://tcj.ru/wp-content/uploads/2013/12/2012_3_48-54_conjectura.pdf (дата обращения: 15.09.2024).
- 6 Беркетова Лидия Владиславовна, Полковникова Василина Александровна К ВОПРОСУ ОБ ЭКО-, СЪЕДОБНОЙ И БЫСТРОРАЗЛАГАЮЩЕЙСЯ УПАКОВКЕ В ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ // Бюллетень науки и практики. 2020. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-ekosedobnoy-i-bystrorazlagayuscheysya-upakovke-v-pischevoy-industrii> (дата обращения: 16.10.2024).

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

7 Битиева С. С., Григорян А. Г., Дзигоева Л. В. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. URL: <https://school-journal.ru/static/2021/5/323/pdf/ArticleFile-2021-1-323.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).

8 Богатова И. Б. Получение биосинтетических полимерных упаковочных материалов решение проблемы полимерного мусора // Вестник Волжского университета им. ВН Татищева. – 2015. – №. 1 (23). – С. 95-100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-biosinteticheskikh-polimernyh-upakovocnyh-materialov-reshenie-problemy-polimernogo-musora> (дата обращения: 15.09.2024).

9 Валеева Н. Ш., Хасанова Г. Б. Биополимеры–перспективный вектор развития полимерной промышленности // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 22. – С. 184-187. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biopolimery-perspektivnyy-vektor-razvitiya-polimernoy-promyshlennosti> (дата обращения: 15.09.2024).

10 Васильева Н. Г. Биоразлагаемые полимеры // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 22. – С. 156-157. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biorazlagayemye-polimery> (дата обращения: 15.09.2024).

I.M. Akmalova

The use of biopolymers to create biodegradable materials

The article discusses the prospects for using biopolymers to create biodegradable materials that can become an environmentally friendly alternative to traditional synthetic polymers. The main types of biopolymers, such as polylactide (PLA), polyhydroxycanoats (PHA) and starch, as well as their physical and mechanical properties and the ability to biodegradation, are described. Particular attention is paid to the problems of the massive implementation of biodegradable materials, including issues of production, the availability of raw materials and technological restrictions. Environmental advantages of using biopolymers, such as a decrease in plastic pollution and carbon trace, are also discussed. The article analyzes examples of the successful use of biopolymers in various industries, including the packaging industry, medicine and agriculture, as well as areas for further research and development of technology.

Key words: Biopolymers, biodegradable materials, polylactide (PLA), polyhydroxycanoats (PHA), starch, biodegradation, environmental stability, plastic pollution, carbon trace, packaging materials, green technologies, ecology, renewable resources, biomaterials, waste reduction, alternative polymers.

References

1 Aleksandrov D. V., Gayanova K. R., Nurullina A. R. Relevance of Using Biodegradable Polymers // Section 4.1. ways to improve military training in the institute of military-technical education. – 2020. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44579381_93509499.pdf#page=175 (accessed: 15.09.2024).

2 Abbasov I. B. Application of Some Biodegradable Polymers in Medicine. – 2023. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50389132_34545876.pdf (accessed: 15.09.2024).

3 Alekhina R. A., Slavkina V. E., Lopatina Y. A. Opportunities for the Use of Biodegradable Polymeric Materials in the Agricultural Sector // Electrical technologies and equipment in agriculture. – 2020. – Vol. 67. – No. 2. – P. 115-120. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43061944> (accessed: 15.09.2024).

4 Balabanova A. A. Creation of Biodegradable Polymeric Materials as a Solution to the Global Environmental Problem // Biochemical physics. – 2021. – P. 19-22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47499332> (accessed: 15.09.2024).

5 Balov A., Ashpina O. The Global Biopolymer Market // The Chemical Journal. – 2012. – No. 3. – P. 48-53. URL: https://tcj.ru/wp-content/uploads/2013/12/2012_3_48-54_conjectura.pdf (accessed: 15.09.2024).

6 Berketova Lidia Vladislavovna, Polkovnikova Vasilina Alexandrovna On the Issue of Eco-, Edible and Fast-Degradable Packaging in the Food Industry // Bulletin of Science and Practice. 2020. No.10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-eko-sedobnoy-i-bystrorazlagayusheysya-upakovke-v-pischevoy-industrii> (accessed: 16.10.2024).

Раздел 5. «Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности»

7 Bitieva S. S., Grigoryan A. G., Dzgoeva L. V. Production of Polymeric Film from Plant Materials. URL: <https://school-journal.ru/static/2021/5/323/pdf/ArticleFile-2021-1-323.pdf> (accessed: 15.09.2024).

8 Bogatova I. B. Production of Biosynthetic Polymeric Packaging Materials as a Solution to the Problem of Polymer Waste // Bulletin of Volzhsky University named after V. N. Tatischev. – 2015. – No. 1 (23). – P. 95-100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-biosinteticheskikh-polimernyh-upakovochnyh-materialov-reshenie-problemy-polimernogo-musora> (accessed: 15.09.2024).

9 Valeyeva N. Sh., Khasanova G. B. Biopolymers - a Promising Vector for the Development of the Polymer Industry // Bulletin of Kazan Technological University. – 2013. – Vol. 16. – No. 22. – P. 184-187. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biopolimery-perspektivnyy-vektor-razvitiya-polimernoy-promyshlennosti> (accessed: 15.09.2024).

10 Vasilyeva N. G. Biodegradable Polymers // Bulletin of Kazan Technological University. – 2013. – Vol. 16. – No. 22. – P. 156-157. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biorazlagaemye-polimery> (accessed: 15.09.2024).