



22-6464

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

М. Г. Балыхин, И. А. Кирш, М. И. Губанова, О. А. Банникова,  
О. В. Безнаева, А. Е. Чалых, А. А. Щербина, А. Л. Иорданский,  
А. А. Ольхов, С. Г. Карпова, М. Ю. Музыка

# Рециклинг упаковки и биоразлагаемые полимерные материалы

22-06464



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский государственный университет пищевых производств»

# РЕЦИКЛИНГ УПАКОВКИ И БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Монография*



МОСКВА, 2022

УДК 544.7  
ББК 24.5  
Р45

**Коллектив авторов:**

М.Г. Балыхин, И.А. Кириш, М.И. Губанова, О.А. Банникова, О.В. Безнаева, А.Е. Чалых,  
А.А. Щербина, А.Л. Иорданский, А.А. Ольхов, С.Г. Карпова, М.Ю. Музыка

**Рецензенты:**

**Кузнецов Александр Алексеевич**, д-р хим. наук, проф., зав. лабораторией термостойких термопластов Института синтетических полимерных материалов РАН

**Штильман Михаил Исаакович**, д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой биоматериалов РХТУ им. Д.И. Менделеева

*Монография рассмотрена и рекомендована к публикации на Научно-техническом совете федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» и секции Научного совета «Физическая химия полимеров» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» Российской академии наук*

Р45

Рециклинг упаковки и биоразлагаемые полимерные материалы [Текст] : монография / М.Г. Балыхин, И.А. Кириш, М.И. Губанова, О.А. Банникова, О.В. Безнаева, А.Е. Чалых, А.А. Щербина, А.Л. Иорданский, А.А. Ольхов, С.Г. Карпова, М.Ю. Музыка – М.: МГУПП, 2022. – 352 с.

ISBN 978-5-9920-0349-9

В монографии рассмотрены теоретические, методические и практические аспекты решения экологической проблемы путем рециклинга отходов упаковки и создания биоразлагаемых полимерных материалов. Дана классификация отходов упаковки, а также способы их переработки. Представлена теория адгезии полимеров, различные подходы к созданию биоразлагаемых полимерных материалов. Монография предназначена для широкого круга специалистов, научных работников, преподавателей ВУЗов, аспирантов, магистрантов, бакалавров, обучающихся по направлениям «Технология полиграфического и упаковочного производства», «Химическая технология», «Промышленная экология и биотехнология». Все права защищены. Книга полностью или ее часть не могут быть воспроизведены в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

УДК 544.7  
ББК 24.5

# Оглавление

<b>ГЛАВА 1. УТИЛИЗАЦИЯ</b> . . . . .	<b>11</b>
1.1. Классификация отходов и источники их образования . . . . .	15
1.2. Управление отходами и способы их утилизации . . . . .	17
1.3. Захоронение ТБО на свалках и полигонах . . . . .	18
1.4. Термические методы переработки отходов . . . . .	19
1.4.1. Сжигание отходов . . . . .	20
1.4.2. Пиролиз отходов . . . . .	21
1.5. Переработка отходов методом компостирования . . . . .	23
1.5.1. Аэробное биотермическое компостирование . . . . .	24
1.5.2. Анаэробное ферментативное компостирование . . . . .	25
1.6. Химические способы переработки отходов . . . . .	26
1.7. Вторичная переработка полимерных отходов . . . . .	27
1.7.1. Сортировка и идентификация полимерных отходов . . . . .	31
1.7.2. Подготовительные операции вторичной переработки полимерных отходов . . . . .	36
1.7.2.1. Отмывка и очистка . . . . .	36
1.7.2.2. Сушка . . . . .	37
1.7.2.3. Измельчение . . . . .	37
1.7.3. Агломерация и грануляция . . . . .	39
1.8. Методы модификации вторичного полимерного сырья . . . . .	42
1.9. Утилизация полимерных отходов на основе полиолефинов . . . . .	44
1.10. Переработка отходов ПВХ . . . . .	56
1.11. Вторичная переработка ПЭТФ . . . . .	58
1.12. Утилизация отходов на основе полиамида, полистирола и полиметилметакрилата . . . . .	83
<b>ГЛАВА 2. СТАРЕНИЕ И ДЕСТРУКЦИЯ ПОЛИМЕРОВ</b> . . . . .	<b>93</b>
2.1. Основные понятия и определения . . . . .	93
2.2. Актуальность изучения деструкции и старения полимеров . . . . .	96
2.3. Основные типы распада полимерных молекул . . . . .	98
2.3.1. Деполимеризация по концевым группам . . . . .	98
2.3.2. Распад по закону случая . . . . .	101
2.3.3. Смешанный тип распада . . . . .	102

2.4. Процессы деструкции полимеров . . . . .	103
2.5. Количественная оценка влияния макровязкости на кинетику деструкции . . . . .	105
2.6. Количественная оценка влияния взаимодействия функциональных групп на их реакционную способность . . . . .	107
2.7. Исследование процессов деструкции . . . . .	110
<b>ГЛАВА 3. АДГЕЗИЯ ПОЛИМЕРОВ . . . . .</b>	<b>114</b>
3.1. Теории адгезии полимеров . . . . .	114
3.1.1. Основные понятия, классификация и определения . . . . .	114
3.1.2. Теории адгезии . . . . .	117
3.1.3. Теории адгезии, основанные на рассмотрении смачиваемости . . . . .	128
3.1.4. Теории адгезии, основанные на разрушении соединений . . . . .	129
3.2. Гидрофобные адгезивы . . . . .	137
3.2.1. Сополимеры винилацетата и бутилакрилата . . . . .	137
3.2.2. Блок-сополимеры стирол-изопрен-стирола . . . . .	143
3.2.2.1. Кинетика нарастания прочности адгезионных соединений . . . . .	143
3.2.2.2. Влияние температуры формирования адгезионных соединений . . . . .	145
3.2.2.3. Модификация термоэластопластов . . . . .	149
3.2.3. Отверждающиеся адгезивы . . . . .	154
3.2.3.1. Эпокси-каучуковая композиция . . . . .	154
3.2.3.2. Полиэфирная смола . . . . .	156
3.3. Гидрофильные адгезивы . . . . .	159
3.3.1. Смеси поливинилпирролидона и полиэтиленгликоля . . . . .	159
3.3.2. Смеси поливинилкапролактама и полиэтиленгликоля . . . . .	165
3.3.3. Система сополимеры винилпирролидона с акрилатами . . . . .	167
3.4. Обсуждение результатов . . . . .	168
3.4.1. Некоторые общие соображения . . . . .	168
3.4.2. Морфология зоны разрушения адгезионных соединений . . . . .	172
3.4.2.1. Модель разрушения соединений при расслаивании . . . . .	175
3.4.3. О прогнозировании адгезионных свойств полимеров . . . . .	178
3.4.4. Результаты модельных расчетов . . . . .	180
3.4.4.1. Скоростная зависимость сопротивления расслаивания . . . . .	180
3.4.4.2. Концентрационная зависимость сопротивления расслаиванию . . . . .	181
3.4.4.3. Температурная зависимость сопротивления расслаиванию . . . . .	183
3.4.4.4. Зависимость сопротивления расслаиванию от времени вулканизации . . . . .	184

<b>ГЛАВА 4. БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .</b>	<b>190</b>
4.1. Современное состояние . . . . .	190
4.2. Полибутиролактон . . . . .	194
4.3. Полимолочная кислота . . . . .	197
4.4. Поли-ε-капролактон . . . . .	204
4.5. Эфиры дикарбоновых кислот . . . . .	205
4.6. Полиамиды . . . . .	207
4.7. Углеводы . . . . .	208
4.7.1. Целлюлоза . . . . .	208
4.7.2. Крахмал . . . . .	209
4.7.3. Хитозан . . . . .	211
4.8. Поливиниловый спирт . . . . .	212
4.9. Композиты на основе полимеров . . . . .	212
<b>ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В БИОПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЯХ . . . .</b>	<b>216</b>
5.1. Биополимеры, их характеристики и методы испытания . . . . .	218
5.2. Пленки на основе смесей поли-(3-гидроксibuтирата) и полиэтилена . . . . .	222
5.3. Пленки на основе смесей поли-(3-гидроксibuтирата) и сегментированного полиуретана . . . . .	232
5.4. Пленки на основе смесей поли-(3-гидроксibuтирата) и полиамида . . . . .	248
5.5. Пленки на основе смесей поли-(3-гидроксibuтирата) и сополимера винилового спирта с винилацетатом . . . . .	258
5.6. Научные аспекты исследования биополимеров и их смесей . . . . .	267
<b>ГЛАВА 6 . НОВЫЕ УПАКОВОЧНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАТОНКИХ БИОПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН . . . . .</b>	<b>270</b>
6.1. Исследование воздействия внешних факторов на структурно-динамические параметры материалов пленочного типа на основе поли-(3-гидроксibuтирата) и полилактида . . . . .	271
6.2. Биодеградация ультраволокнистых материалов на основе смесей поли-(3-гидроксibuтирата) и полилактида . . . . .	289
6.3. Исследование термоокислительной и биодеградаци ультраволокнистых материалов на основе поли-(3-гидроксibuтирата) и хитозана . . . . .	306

---

<b>ГЛАВА 7. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ . . . . .</b>	<b>326</b>
7.1. Объекты и методы исследования . . . . .	327
7.2. Установление закономерностей влияния ультразвуковой обработки на расплавы полимеров различной химической природы . . . . .	330
7.3. Влияние ультразвука на физико-механические свойства смесей из несовместимых полимеров и на свойства полимерных композиций, содержащих биоразлагаемые наполнители . . . . .	333
7.4. Изучение структуры полимерных смесей из несовместимых полимеров, полученных при обработке расплавов ультразвуком . . . . .	334
7.5. Исследование реологических свойств полимерных смесей при воздействии ультразвука на их расплавы . . . . .	338
7.6. Исследование влияния ультразвука на термомеханические свойства композиций из несовместимых полимеров . . . . .	338
7.7. Изучение химической структуры полимерных композиций, полученных при обработке их расплавов ультразвуком . . . . .	340
7.8. Модификация вторичных полимерных материалов, полученных при воздействии ультразвуковых колебаний на расплавы полимеров . . . . .	344
7.9. Модификация вторичного полиэтилентерефталата путем введения добавок различной химической природы и при воздействии УЗ . . . . .	346
7.10. Перспективы дальнейшего использования результатов работы и ее продолжение . . . . .	350