

**Государственное профессиональное образовательное учреждение Тульской  
области  
«Алексинский химико-технологический техникум»**

**Всероссийский конкурс  
юных исследователей окружающей среды**

Номинация «Обращение с отходами»

Тема работы: «Биоразлагаемые полимеры»

Автор: Павлюк Карина  
Руководитель: Пронина Инна  
Александровна

Алексин, 2022 г.

Ключевые слова: *биополимеры, биоразложение, фрагментация, минерализация.*

В данной работе поднимается проблема загрязнения окружающей среды синтетическими пластмассами. Как выход из этой ситуации рассматривается возможность использования биоразлагаемых полимерных материалов. В исследовании рассматриваются основные виды таких материалов, их свойства, особенности получения и переработки. Проведенное исследование показало, что биоразлагаемые полимеры подвергаются деструкции быстрее, чем привычные нам пластмассы.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

#### **I. Состав и особенности получение биопластиков**

1.1. Классификация биоразлагаемых полимеров

1.2. Свойства биоразлагаемых полимеров

1.3. Производства биополимеров

1.4. Сферы применения биоразлагаемых пластиков

#### **II. Экспериментальная часть**

2.1. Исследование скорости и степени разложения изделий из биоразлагаемых полимеров

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

## ВВЕДЕНИЕ

Полимерные материалы играют большую роль в промышленности и жизни человека. В настоящее время производство синтетических пластмасс в мире достигло 250 млн. т в год и продолжает расти. На Россию приходится примерно 3 млн т, из них 90% отправляется на полигоны. Там мусор разлагается сотни лет, например, пластиковые бутылки из-под воды полностью исчезают только за 450 лет.

После использования полимерные промышленные и бытовые отходы попадают в мусорные отвалы. Традиционные материалы на основе полиэтилена, полипропилена и т. п. могут десятилетиями оставаться не тронутыми природой. Как быть и что делать с пластмассовым мусором, становится глобальной экологической проблемой, от решения которой в значительной степени зависит экологическая ситуация в мире.

Для очистки окружающей среды от пластмассовых отходов и снижения антропогенной нагрузки на человека и окружающую среду активно реализуются два основных подхода: захоронение (хранение отходов на свалках) и переработка. Наиболее щадящим способом является переработка полимерных отходов. Но она является дорогостоящей.

Поэтому в настоящее время **актуальными** являются разработка и совершенствование технологий производства биополимеров.

Биополимеры (полное название – биоразлагаемые полимеры) отличаются от остальных пластиков возможностью разложения путем химического, физического или биологического воздействия. Именно это свойство новых материалов позволяет решать проблему отходов.

Сегодня в мире уже производятся биопластмассы, практически ни в чём не уступающие обычным. Однако широкого распространения они пока не получили.

**Цель работы** - изучить состав и свойства, перспективы возможности переработки и утилизации биоразлагаемых полимеров, а также исследовать скорость и степень их разложения.

### **Задачи:**

1. Выяснить сущность понятий “биопластики”, “биоразлагаемые полимеры”, “биодеструкция”.
2. Используя различные источники, собрать и изучить информацию о биоразлагаемых полимерах, о способах их получения и применения, а также о скорости разложения и безопасности для окружающей среды.
3. Выяснить, какие проблемы и перспективы использования биоразлагаемых полимеров существуют.
4. Провести исследование скорости и степени разложения изделий из биоразлагаемых полимеров.

Исследования проводились на территории химико-технологического техникума в г. Алексин, а также в лаборатории.

# I. СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПЛАСТИКОВ

## 1.1. Классификация биоразлагаемых полимеров

Биополимеры (полное название – биоразлагаемые полимеры) отличаются от остальных пластиков тем, что разлагаются в окружающей среде под действием физических факторов и микроорганизмов – бактерий или грибов. Полимер, как правило, считается биоразлагаемым, если вся его масса разлагается в почве или воде за период в шесть месяцев.

Продуктами разложения являются диоксид углерода, метан, вода, биомасса и неорганические соединения.

Биоразложение или биотическое разложение – это процесс, в результате которого полимерный материал разлагается под действием биотических компонентов (живых организмов). Другими словами, биоразлагаемые полимеры представляют собой «пищу» для микроорганизмов. Таким образом, биотическое разложение превращает искусственные материалы, такие как пластики, в природные компоненты. Процесс, в результате которого органическое вещество, например полимер, превращается в неорганическое вещество ( $\text{CO}_2$ ), называется минерализацией.

Биоразлагаемые полимеры делят на следующие группы:

1. **Биоразлагаемые пластики из ископаемого сырья.** Это полностью синтетические материалы, получаемые традиционными методами нефтехимической промышленности из вполне классического углеводородного сырья, однако способные в силу своих структурных особенностей подвергаться биодеградации. Это в первую очередь полибутираты (общепринятая аббревиатура PBAT), полибутиленсукцинаты (PBS), поливиниловый спирт.

2. **Биоразлагаемые пластики из природного сырья.** Сюда относятся “стоцентные” биопластики. По способу получения полимера выделяют подгруппы:

а. *Полимерная цепь образуется в природе без участия человека.* Эта группа охватывает такие вещества, которые являются полимерами “от природы”, а задачи их производства сводятся или к выделению таких полимеров из биосырья, или модификации их структуры без сборки полимерной цепи. Яркие представители этой группы — биополимеры на основе крахмала, модифицированной целлюлозы.

б. *Полимерная цепь образуется в ходе жизнедеятельности микроорганизмов в контролируемой среде.* Эта группа включает целое семейство полимеров с общим названием полигидроксиалканоаты (PHA), которые образуются в ходе жизнедеятельности бактерий.

в. *В ходе биологического процесса образуется мономер, а сборка полимера осуществляется химическим путем.* Яркий пример веществ этой группы — хорошо известная полимолочная кислота (PLA)

## 1.2. Свойства биоразлагаемых полимеров

Хотя биоразлагаемые полимеры в основе своей сходны с традиционными полимерами – полиэтиленом (ПЭ), полипропиленом (ПП) и полистиролом (ПС), особая химическая структура наделяет их новыми техническими характеристиками и возможностями. Например, некоторые биоразлагаемые полимеры обладают намного большей пропускной способностью к воде, что, безусловно, можно выгодно использовать при определенной обработке. Например, барьерные свойства полимолочной кислоты используются при создании упаковки для кулинарии и выпечки, которая позволяет дольше сохранять свежими эти продукты. Что касается пленок из пшеничной смеси, то она используется для упаковки фруктов и овощей, так как идеально обеспечивает нужный уровень влажности при хранении.

Биоразлагаемые полимеры можно перерабатывать с помощью большинства стандартных технологий производства пластмасс, включая горячее формование, экструзию, литьевое и выдувное формование. Термо- и механические свойства многих биопластиков обеспечивают аналогичные, а иногда даже более высокие, потребительские характеристики по сравнению с продуктами, полученными из традиционных термопластических материалов.

Как можно узнать, что полимерный материал – биоразлагаемый?

Биоразлагаемые полимеры сертифицируются международными регулирующими организациями на соответствие международным стандартам: EN 13432 (европейский), Green PLA (японский), ASTM D 6400 (американский). В процессе сертификации биополимеры проходят многоэтапное тестирование на биодegradацию. Только успешные результаты на всех этапах позволяют признавать тестируемый полимер биоразлагаемым, причислять его к группе биополимеров.

Например, согласно стандарту EN 13432 биологическое разложение пластика (биодegradация) тестируется в стандартных компостных условиях в течение 180 дней. По результатам тестирования биопластики (в количестве не менее 90%) должны превратиться в углекислый газ, воду и гумус. Далее полученный компост просеивается через сито, сквозь ячейки которого могут проходить частицы размером не более 2 мм. Нормой считается, когда исходный биополимер оставляет после себя остаток не более 10%.

Разложение начинается с фрагментации, когда полимер, в результате воздействия биотических или абиотических факторов подвергается химическому расчленению, приводящему к механическому расщеплению полимера на фрагменты. На следующем этапе происходит минерализация продуктов расщепления микроорганизмами. Данный этап является обязательным и свидетельствует о биоразложении, так как фрагменты полимеров превращаются в конечные продукты под действием микроорганизмов. Существуют и другие случаи (например, оксо-разлагаемые полимеры), когда материал подвергается быстрой фрагментации под действием тепла и УФ-излучения, но этап минерализации протекает очень медленно,

ввиду того, что инертные микрочастицы пластика являются малочувствительными к биоразложению.

Конечный этап биоразложения определяется уровнем минерализации.

### 1.3. Производства биополимеров

Способность полимера или пластика подвергаться биоразложению зависит исключительно от химической структуры полимера. В связи с этим на биоразлагаемость не оказывает влияния источник сырья, из которого произведен пластик, и потому биоразлагаемые полимеры могут быть получены как из возобновляемых источников сырья (биомассы), так и из невозобновляемых (ископаемых) источников.

Производство биоразлагаемых полимеров может включать в себя различные технологические процессы, не оказывающие влияние на биоразлагаемость материала. Способы производства биоразлагаемых полимеров могут быть синтетическими (химическими) или биотехнологическими (под воздействием микроорганизмов или ферментов).

Наиболее широко используемые способы производства:

- Производство пластиков из природных полимеров посредством механической или химической обработки (например, пластики, получаемые из деструктурированного крахмала).
- Производство полимеров биотехнологическим способом из возобновляемых источников сырья (например, ферментация сахаров, в процессе которого природные микроорганизмы синтезируют термопластические алифатические полиэферы, такие как полигидроксibuтират).
- Химический синтез полимеров из мономеров, получаемых в свою очередь путем биотехнологического превращения возобновляемых источников сырья (например, использование молочной кислоты, получаемой путем ферментации сахаров, для производства

### 1.4. Сферы применения биоразлагаемых пластиков

#### **Крахмал** (биоразлагаемая добавка для ПМ)

По механическим свойствам приближается к обычным полимерам (например, ПП). Устойчив к воздействию жиров и алкоголя. Значительное различие в свойствах зависит, в частности, от соотношения амилопектина и амилозы, а также других добавок. Может подвергаться компостированию.

Возможное применение:

- упаковка продуктов питания и личной гигиены;
- хозяйственные пленки;
- термоформованные изделия;
- агротехнологии;
- изделия спортивного и медицинского назначения.

#### **Целлюлоза** (биоразлагаемая добавка для ПМ)

Обладает высокой механической прочностью, не растворяется в воде и органических растворителях, не плавится. Под воздействием кислот легко гидролизуется. Разновидности: ацетилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, целлулоид и др.

Возможное применение:

- изделия ежедневного применения: детали ручек, очков;
- изделия строительного и спортивного назначения;
- игрушки.

### **РНА (Полигидроксисмалканоаты)**

Физико-химические свойства зависят от состава - более 100 различных мономеров может применяться для достижения требуемых свойств. Наличие свойств как термопластов (РНВ, РНУ), так и эластомеров. Высокие барьерные свойства. Может подвергаться компостированию.

Возможное применение:

- упаковка продуктов питания, личной гигиены;
- электрические, химические и медицинские производства;
- биокompозиты;
- пеноматериалы.

### **РЛА (Полимолочная кислота, полилактид).**

Свойства зависят от стереохимического состава и могут приближаться к свойствам ПП, ПС или ПВХ.

Возможное применение:

- упаковка (в том числе сельскохозяйственного и строительного назначения);
- волокна и волокнистые материалы;
- элементы внутренней отделки автомобилей;
- биокompозиты.

### **ААС (Алифатическо-ароматический сополиэфир)**

Сочетает свойства биоразлагаемости алифатических частей с высокими механическими свойствами ароматических частей.

Возможное применение:

- геотекстиль;
- упаковка;
- ламинаты;
- материал для хранения продукции в сельском хозяйстве и строительстве.

### **РСЛ (Поликапролактан)**

Высокая механическая прочность и хорошие барьерные свойства ( по отношению к воде и жирам), низкая температура плавления (50 С). Может подвергаться компостированию или рециклингу.

Возможное применение:

- упаковка;
- волокна для геотекстиля, пленки;
- искусственная кожа;
- компонент полиуретановых лаков.

### **mPET (Модифицированный полиэтилентерефталат)**

Высокая механическая прочность и хорошие барьерные свойства (по отношению к воде и жирам). Может подвергаться компостированию и рециклингу.

Возможное применение:

- упаковка (в том числе термоформованная и вспененная);
- продукция сельскохозяйственного назначения.

В России ученые и инженеры разных специальностей успешно решают проблемы разработки биоразлагаемых полимеров для медицинских целей. Внедрение этих материалов производится по следующим направлениям:

- в клеточной и тканевой биоинженерии;
- в качестве матриц для систем контролируемой доставки лекарственных средств в организм человека;
- в сердечно-сосудистой и челюстно-лицевой хирургии, ортопедии и пр.

## II. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Исследование скорости и степени разложения изделий из биоразлагаемых полимеров

**Цель:** Провести сравнение скорости и степени разложения изделий из биоразлагаемого полимера и полиэтилена.

**Оборудование:** изделия из биоразлагаемого полимеров на основе полиэтилена и полиэтилен (пакеты), баночки для проведения исследования, почва, аналитические весы.

#### Ход работы:

Для данного эксперимента были взяты 4 образца полимеров (Рис. 1):

Испытания проводились на улице и в помещении

*Образец 1* –полиэтиленовый пакет (Рис 2).

*Образец 2* – биоразлагаемый пакет (на основе полиэтилена) (Рис. 3).

*Образец 3*- биоразлагаемый пакет ( на основе полиэтилена) (Рис. 4)

*Образец 4*- пакет изготовленный из вторсырья (на основе полиэтилена) (Рис. 5)



*Рис. 1 Образцы полимеров*



*Рис. 2 Образец № 1 материал: полиэтилен низкого давления*



*Рис. 3 Образец № 2 материал: биополимер на основе полиэтилена*



*Рис.4 Образец № 3 материал: биоразлагаемый материал*



**Рис.5 Образец № 4 материал: пакет из вторсырья**

Образцы были закопаны в земле, на глубине 15-20 см на территории техникума. Вторая была выполнена в лаборатории. Подготовили 4 баночки для эксперимента, тщательно вымыв их и насыпав в них влажную землю. После положили в них по одному образцу каждого материала.

Образцы взвесили перед проведением эксперимента. Материалы хранившиеся в земле на территории взвешивали один раз в пол года, материалы находившиеся в лаборатории каждые 2 месяца.

**Таблица 1. Результаты взвешивания образцов.**

Дата начала эксперимента 21.10.2021

Дата окончания эксперимента 18.10.2022

**Таблица результатов образцов хранившихся в земле**

<i>Месяц</i>	<i>Масса образца № 1 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 1 (%)</i>	<i>Масса образца № 2 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 2 (%)</i>
<b>Октябрь</b>	2,1	0	0,9	0
<b>Апрель</b>	2,1	0	0,8	12,4
<b>Октябрь</b>	2,1	0	0,7	23,3

**Таблица результатов образцов хранившихся в земле**

<i>Месяц</i>	<i>Масса образца № 3 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 3 (%)</i>	<i>Масса образца № 4 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 4 (%)</i>
<b>Октябрь</b>	4,6	0	1,9	0
<b>Апрель</b>	4,55	1,09	1,6	15,8
<b>Октябрь</b>	4,5	2,2	1,4	26,32

**Таблица результатов образцов хранившихся в лаборатории**

<i>Месяц</i>	<i>Масса образца № 1 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 1 (%)</i>	<i>Масса образца № 2 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 2 (%)</i>
<b>Октябрь</b>	0,8	0	0,41	0
<b>Декабрь</b>	0,8	0	0,38	7,32
<b>Февраль</b>	0,8	0	0,34	17,1
<b>Апрель</b>	0,8	0	0,32	22
<b>Июнь</b>	0,8	0	0,27	34,2
<b>Август</b>	0,8	0	0,22	46,35
<b>Октябрь</b>	0,8	0	0,18	56,1

**Таблица результатов образцов хранившихся в лаборатории**

<i>Месяц</i>	<i>Масса образца № 3 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 3 (%)</i>	<i>Масса образца № 4 (г)</i>	<i>Абсолютное уменьшение массы образца № 4 (%)</i>
<b>Октябрь</b>	0,46	0	0,47	0
<b>Декабрь</b>	0,45	2,2	0,47	0
<b>Февраль</b>	0,42	8,3	0,46	2,3
<b>Апрель</b>	0,39	15,3	0,46	2,3
<b>Июнь</b>	0,36	22	0,45	6,4
<b>Август</b>	0,34	26,1	0,45	6,4
<b>Октябрь</b>	0,33	28,3	0,45	6,4

**Вывод:** Материал №1 свою массу не изменил ни в лабораторных условиях ни в естественных, образец №2 в лабораторных условиях уменьшился на 0,23г или 56,1% ,а в естественных условиях на 0,2г или 23,4% от первоначального веса, образец №3 в лабораторных условиях уменьшился на

0,13г или 28,3%, а в естественных условиях на 0,1г или 2,2% от первоначального веса, образец №4 в лабораторных условиях 0,02г или 6,4% а в естественных условиях на 0,3г или 26,32% от первоначального веса.

Помимо этого, материалы № 2,3,4 стали более хрупкими, о чем свидетельствует появление микротрещин. Это подтверждает, что материалы подвергаются разрушению и их действительно можно отнести к биопластикам. Образец №1 никак не изменил своих свойств. Образец №4 изготовленный из вторичного сырья показал, что он лучше разлагается в естественных условиях, образцы №2,3 которые изготовлены из биоразлагаемого сырья лучше разлагаются в лабораторных условиях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полимерные продукты играют большую роль в промышленности и жизни человека. После использования полимерные промышленные и бытовые отходы попадают в мусорные отвалы. Всевозрастающая нагрузка на окружающую среду отходами синтетических полимеров и пластика, использование технологий их переработки, а самое главное - отсутствие культуры природопользования-основные стимулы внедрения производства биополимеров.

Я считаю, решением сокращения количества “полимерного мусора” может стать лишь более широкое использование биоразлагаемых полимеров, прежде всего природного происхождения, а также широкое внедрение в реальную технологию производства синтетических биоразлагаемых полимеров.

Учитывая экологическую чистоту таких материалов, производители могут формировать свой позитивный образ на рынке, а также демонстрировать абсолютно новый уровень развития биополимеров. Многообразие способов переработки новых полимеров создает идеальные условия для распространения их во всем мире. Биополимеры представляют собой продукты синтеза на основе сахара, крахмала, целлюлозы, лигнина и растительных масел. По имеющимся расчетам, в течение жизненного цикла биополимеров (от получения до полного перегнивания на свалке или сжигания в качестве топлива) образуется значительно меньше углекислого газа, чем у пластиков из нефтехимического сырья.

Я считаю, что цель моей работы – исследовать скорость и степень разложения биоразлагаемых полимеров – достигнута. Экспериментальным путем доказано, что изделия из биопластиков и вторсырья способны к биоразложению и процесс разрушения изделий из таких материалов довольно заметен по сравнению с пластиками из «повседневной жизни».

Я считаю, что именно биоразлагаемость высокомолекулярных соединений и будет тем приоритетным направлением, которое позволяет исключить значительное число проблем загрязнения окружающей среды, возникающих при использовании бытовых товаров, а во многих случаях и продукции технического назначения из синтетических полимеров.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильданов Ф. Ш., Латыпова Ф. Н., Красуцкий П. А., Чанышев Р. Р. Биоразлагаемые полимеры современное состояние и перспективы использования // Башкирский химический журнал № 1–2012 – с. 135-139
2. Костин А. Биопластики: перспективы в России.// «Пластикс № 3» - 2015 - с. 44-50
3. Кржан А. Биоразлагаемые полимеры и пластики. - URL: <http://www.plastice.org>. (Дата обращения: 30.09.2016)
4. Лешина А. Пластики биологического происхождения, “Химия и жизнь”, 2012, №9
5. Обзор технологии получения биоразлагаемых полимеров и пластиков. - URL: <http://www.simplexnn.ru/?id=8543> (Дата обращения: 04.10.2016)
6. Биоразлагаемые полимеры  
URL. <https://livescience.ru/Статьи:Биоразлагаемые-полимеры> (Дата обращения 10.09.2022)
7. Информационно-аналитический центр RUPEC, 2014  
URL.  
<https://rupec.ru/download.php?url=/upload/iblock/ffa/ffa51b904b9922ee250b855da09cc70f.pdf> ( Дата обращения 11.09.2022)