

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ  
школьников «Высший пилотаж»

## **Биологический метод утилизации полиэтиленовых отходов с помощью личинок восковой моли**

Исследовательская работа

Направление «Биология»

Автор: Охлопкова Эмма Васильевна,

учащаяся 11 «А» класса,

МОБУ СОШ №7 г. Якутска

Руководитель: Яковлева Ульяна Михайловна,

учитель биологии и химии

МОБУ СОШ №7 г. Якутска

Якутск, 2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1. Биологическая характеристика восковой моли .....	5
1.2. Образ жизни большой восковой моли .....	5
1.3. Условия содержания большой восковой моли .....	8
1.4. Содержание органических соединений в тканях личинок восковой моли .....	8
1.5. Поедание полиэтилена личинками восковой моли .....	8
1.6. Химический состав полиэтилена.....	9
ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	10
2.1. Методы исследования .....	10
2.2. Результаты исследования .....	11
2.2.1. Фенологические наблюдения за развитием личинок восковой моли.....	11
2.2.2. Органолептические показатели проб пчелиного воска .....	12
2.3. Данные фенологических наблюдений за утилизацией полиэтилена личинками восковой моли.....	14
2.4. Определение органических соединений в личинках восковой моли методом хроматографии .....	16
2.5. Математические расчеты по утилизации полиэтилена за жизненный цикл личинки восковой моли .....	18
2.6. Экологическая эффективность утилизации полиэтиленового пакета биологическим методом .....	20
ВЫВОДЫ.....	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	23

## ВВЕДЕНИЕ

**Аннотация:** В проектно-исследовательской работе изучен биологический метод утилизации полиэтиленовых отходов с помощью личинок восковой моли. Сделан достаточный анализ литературных источников по изучению развития личинок восковой моли, а также проведены опыты по утилизации полиэтилена с помощью личинок в лабораторных условиях. В ходе исследования мы изучили строение и пронаблюдали за циклом развития личинки восковой моли. Было интересным наблюдать под микроскопом за процессом окукливания личинки, выявили ее линьку, изменяющуюся 10 раз. Каждая личинка для полного своего развития потребляет около 0,4 г воска и поедает до 600 восковых ячеек в сотах.

**Актуальность:** В последнее время в мире происходит рост бытового мусора. В производстве для упаковочных материалов товара первой необходимости широко применяются химические упаковки, сделанные из полиэтилена. Ученые доказали, что полиэтилен практически не разлагается в природе, кроме того их нельзя сжигать так как полиэтилен может иметь токсичные канцерогенные вещества, которые могут нанести природе огромный ущерб и вред не только окружающей среде, но и человеку.

**Проблема:** В связи с этим возникают проблемы по утилизации мусора полиэтиленового производства.

**Идея:** Наиболее эффективным экологически безопасным методом с точки зрения зелёной химии является использование живых организмов в переработке отходов.

**Цель:** Изучить биологический метод утилизации полиэтиленовых отходов с помощью личинок восковой моли.

### **Задачи:**

1. Изучить литературу по выбранной теме.
2. Изучить химический состав полиэтилена для правильной его утилизации.
3. Изучить жизнедеятельность личинок восковой моли для утилизации полиэтиленовых отходов.
4. Провести фенологические наблюдения за личинками восковой моли и опыты по утилизации полиэтилена.
5. Произвести математические расчёты и попытаться выявить экологическую эффективность биологического метода утилизации.

**Объект исследования:** Личинки восковой моли

**Метод исследования:** Метод утилизации полиэтиленовых отходов с помощью жизнедеятельности личинок восковой моли. Метод хроматографии на тонком слое сорбента и метод газовой хроматографии-масс-спектрометрия.

**Предмет исследования:** Поедание полиэтилена и выращивание личинок восковой моли в домашних и школьных лабораторных условиях.

**Новизна работы:** Новизной работы считается то, что удалось узнать метод утилизации бытовых полиэтиленовых отходов с помощью жизнедеятельности личинок восковой моли.

**Практическая значимость:** Практическая значимость данной работы заключается в том, что этот метод отвечает требованиям зелёной химии. Данный метод мы можем рекомендовать частным предпринимателям, которые занимаются переработкой мусора и населению для охраны окружающей среды.

## ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1. Биологическая характеристика восковой моли

Большая восковая моль, или пчелиная огнёвка (*Galleria mellonella* L.) относится к отряду Lepidoptera и в настоящее время выделена в семейство огневок Pyralidae. Восковая моль приспособлена обитать в пчелиной семье, то кормовой субстрат для неё находится в пчелином улье, поэтому личинка может вырабатывать фермент церраза, который расщепляет пчелиный воск. Наибольший ущерб личинка восковой моли наносит пчеловодству, разрушая и поедая соты медом и пергой.

*Galleria mellonella* (Большая восковая моль) – широко распространена, где есть пчёлы, за исключением районов с суровым климатом или расположенных на высоте свыше 1500–2000 м над уровнем моря. Особенно сильно этот вредитель размножается в местностях с тёплым климатом [3].



Рисунок 1. Имаго и личинки восковой моли

### 1.2. Образ жизни и цикл развития восковой моли

Полный цикл развития восковой моли при 30–32°C в среднем длится 47 дней и включает 4 стадии:

- яйцо – 8 дней,
- личинка 30 дней;
- куколка – 9-14 дней;
- взрослое насекомое (имаго). Самки живут от 7 до 12 дней, самцы — от 10 до 26 дней.

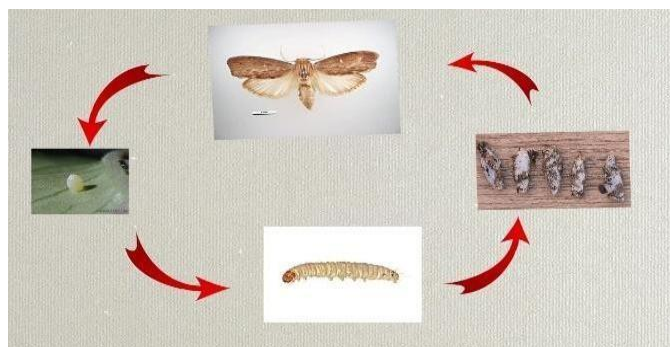


Рисунок 2. Жизненный цикл развития восковой моли

Яйца большой восковой моли стекловидные, жемчужно-белого или светло-кремового цвета. Цвет яйца постепенно меняется от белого до желтого. За четыре дня до вылупления, на яйце появляется темное кольцо внутри оболочки корпуса. Отлично сформированные личинки могут быть отчетливо видны, по крайней мере, за 20 часов до разрыва оболочки. В течение этого времени личинка окончательно разрезает оболочку и проделывает отверстие в верхней части яйца, и выходит из рваного отверстия. Кладка яиц происходит в щелях, углублениях стенок и потолка улья, рамок или ячейки сотов, на дне улья.

Продолжительность откладки партии яиц (в среднем 54 штуки) происходит примерно за 2 минуты, после чего самка остаётся на соте до 1 часа. Многие ученые в своих работах указывают приблизительную цифру инкубационного периода яйца в 8–10 дней.

При вылуплении из яйца личинка имеет белый цвет. Длина личинки в среднем 1–3 мм. Личинка имеет голову, грудь, брюшко. Передняя часть её тела несколько утолщена. У личинки три пары ног, а на заднем конце две щетинки. В первые 15–20 минут после вылупления она неподвижна, затем личинка продвигается вниз по соту, через 15–30 минут становится более активной, в течение 10–30 минут питается мёдом. Через два часа личинка вновь потребляет мед, а потом начинает поедать пчелиный воск, затягивая их паутиной, повреждая личинки и куколки пчёл. После стадии личинки, прежде чем спрядать кокон, личинка проделывает неглубокую канавку в планке рамки или в другом месте улья. В это время личинка неподвижна, не реагирует и только может слегка повернуться, сильно уменьшается в длину, голова направлена вперед. Эта стадия предкуколки. Срок развития предкуколки в среднем составляет 2 дня.

В возрасте одного дня личинки способны к активной миграции, проходя на отдельных участках до 25–50 м. В естественных условиях продвижение личинок прекращается при сильном дожде или при высокой температуре. По данным и анализам К.П. Цветковой (1949) развитие одного поколения длится 45–58 дней, а при низкой температуре задерживается до 3–4 месяцев и более. Полный цикл развития при 30–32°C длится 47 дней, при 20°C развитие затягивается, а ниже 10°C прекращается. Зимуют личинки в пчелином улье, иногда куколки в состоянии оцепенения.

При температуре 8°C и ниже развитие личинки приостанавливается, она перестает двигаться и впадает в анабиоз. Как только температура поднимается выше 8 - 10°C, личинка возвращается к жизни, окукливается и превращается в бабочку.

Следующий этап развития восковой моли – куколка. Средняя длина куколки у самок 16 мм, у самцов 14 мм, первоначально имеют белую окраску, но могут быть покрыты частичками экскрементов гусениц. К концу срока развития куколка приобретает темно-бурый цвет. Часто коконы размещаются рядами или ярусами. По массе куколок можно судить о скорости развития личинок и запасах питательных веществ, с которыми личинка переходит в стадию куколки. Вариации продолжительности жизни личинки, как и куколки, зависят от температуры среды и

относительной влажности.

Самка имаго большой восковой моли имеет 15–20 мм в длину, размах крыльев в среднем 15–35 мм. Крылья и тело покрыто чешуйками, содержащими пигмент. Передние крылья фиолетово-серые со светлыми и тёмными пятнами; задние – серые с тёмными штрихами. Задний край передних крыльев ровный, задних крыльев – закруглённый.

Цвет и размер имаго зависит от качества сот, которыми питалась моль на стадии личинки. Голова самки удлинённая и суживается вследствие направленных вперед щупиков, по которым легко дифференцировать половое различие. Самка имеет опущение и короткий хоботок, большие фасетчатые глаза, подвижные тонкие усики, состоящие из 60 члеников, брюшко состоит из 10 члеников, при надавливании из него выступает длинный яйцеклад.

Из коконов имаго выходит ранним утром между 6 и 11 часом, но чаще всего – вечером около 17 часов. Взрослое насекомое, появившееся вечером, выходит из леткового отверстия и прикрепляется к горизонтальным поверхностям снаружи улья, либо улетает в листву. Наиболее они активны в вечернее и ночное время. Ротовой аппарат и пищеварительная система имаго недоразвиты. Взрослая бабочка не питается, а живёт за счёт тех питательных веществ, которыми она накопила на стадии личинки.

Большинство самок крупнее самцов и темнее цветом. Спаривание происходит через несколько часов после выхода их из коконов. Оплодотворенные самки начинают откладывать яйца через 24 часа после спаривания. Через 2–3 дня самка способна откладывать в среднем 85–100 яиц.

Отличительные признаки самцов и самок - это антенны. У самцов с короткими сенсиллами, у самок – длинными [3].



Рисунок 3. Имаго восковой моли

### **1.3. Условия содержания большой восковой моли**

Для выращивания и содержания личинок большой восковой моли применяют различные конструкции и садки. Изучая разные литературные источники, мы узнали, что на данный момент есть довольно много технологических способов содержания большой восковой моли. Всех их объединяет наличие вентиляционных отверстий для предотвращения повышенной влажности. Самым простым и оптимальным способом содержания личинок восковой моли является полипропиленовые контейнеры с пчелиным воском и с отверстиями, чтобы предотвратить повышения влажности.

Поэтому мы в своём эксперименте использовали полипропиленовые контейнеры с пчелиным воском с медом. На крышках контейнеров мы проделали дырки (отверстия), чтобы проникал кислород и удалялась влага.

### **1.4. Содержание органических соединений в тканях личинок восковой моли**

Восковая моль содержит значительное число аминокислот, дисахаридов, жирные кислоты, макро- и микроэлементы [4].

Исследователи выявили у экстрактов личинок восковой моли наличие адаптогенных, кардиопротективных, кардиотропных и гипоагглютининовых свойств. Кроме этого экстракты личинок восковой моли обладают низкой токсичностью, противостафилококковой и антилегионеллезной активностью. Лизоцин, определяемый в эндолимфе восковой моли обладает антибактериальными свойствами. Исследователи гемолимфы личинок выявили наличие гемолитической активности [5].

### **1.5. Поедание полиэтилена личинками восковой моли**

В апреле 2017 года исследователи из Испании и Великобритании опубликовали статью в журнале «Curret Biology», в котором доказывали, что личинки восковой моли способны разлагать полиэтиленовые пакеты.

В эксперименте, исследователи личинки оставили наедине с пакетом, дыры в нём стали появляться через 40 минут. Примерно за 12 часов около 100 гусениц съели 92 миллиграмма пластика. Они сделали вывод, что личинки восковой моли не только разгрызают полиэтилен, но и расщепляют его химически, так как пластик действует гомогенат из гусениц, и при этом образуется этиленгликоль. Неясно, вырабатывает ли нужные ферменты сама гусеница. Ранее способность поедать полиэтилен и расщеплять его с помощью бактерий была обнаружена у гусениц бабочки *Plodia interpunctella* из того же семейства [1].





Рисунок 4. Исследования учёными личинок восковой моли

### 1.6. Химический состав полиэтилена

Полиэтилен — это сложное органическое соединение, имеющее длинные молекулы ...— $\text{CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—...}$ , состоящая из ковалентных связей между атомами углерода. Представляет собой воскообразную массу белого цвета. Химически полиэтилен морозостоек, изолятор, не чувствителен к удару (амортизатор), при нагревании размягчается ( $80\text{—}120^\circ\text{C}$ ), при охлаждении застывает.

Полиэтилен устойчив к воде, алкоголю, овощным сокам, бензину, кислотам, маслу, растворителям и щелочам. Он разрушается лишь 50% раствором азотной кислоты, так же газообразными и жидкими хлором и фтором. Через него могут просачиваться йод и бром. В органических растворителях полиэтилен не растворяется, происходит лишь незначительное набухание [2].



Рисунок 5. Полиэтиленовый пакет

## ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Сроки и методика проведения экспериментов

Данная проектно-исследовательская работа проводится нами в течение 3 лет в лабораторных условиях.

Исследования проводились по общепринятой методике.

**Объект исследования:** Личинки восковой моли Сроки проведения экспериментов:

**1 этап:** Наблюдения за развитием личинок восковой моли и постановка опытов по утилизации полиэтилена. (ноябрь 2019 – май 2020 г.)

**2 этап:** Продолжение наблюдений за развитием личинок восковой моли и повторная постановка опытов по утилизации полиэтилена. Проведение опытов по определению содержания органических соединений в экстрактах личинок восковой моли методом хроматографии. Обработка полученных результатов и повторная постановка опытов по утилизации полиэтилена (июнь 2020 – май 2021 г.)

**3 этап:** Выведение нового поколения личинок и повторная постановка опытов по утилизации полиэтилена. Сбор материала, анализ и выводы (сентябрь 2021 –декабрь 2022 г.)



Рисунок 6. Наблюдения и измерения за личинками восковой моли



Рисунок 7. Взвешивание полиэтиленового пакета

## 2.2. Результаты исследований

### 2.2.1. Фенологические наблюдения за развитием личинок восковой моли



Рисунок 8. Фаза образования паутины и откладывание яиц 28 февраля 2020 г.



Рисунок 9. Личинки не заметны. Фаза окукливания. 6 марта 2020 г.



Рисунок 10. Частичное разрушение соты личинками, 20 марта 2020 г.

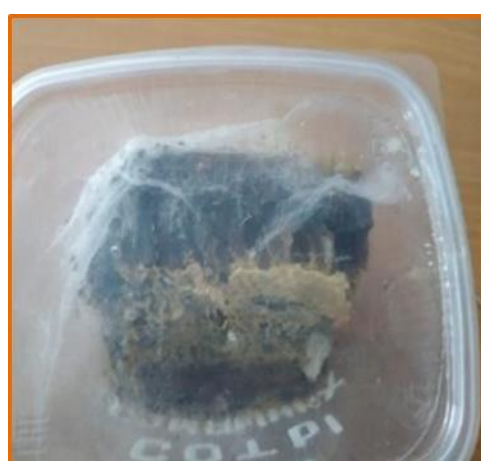


Рисунок 11. Жизнедеятельность личинок 8 мая 2020 г.



Рисунок 12. Полное разрушение соты личинками. Деятельность личинок 11 мая 2020 г.

**Продолжительность развития трёх поколений восковой моли в зависимости от температуры**

Показатели	Стадии развития											
	Яйцо			Личинка			Куколка			Имаго		
	2019-2020 г.	2021-2022 г	2022 г	2019-2020 г	2021-2022 г	2022 г	2019-2020 г	2021-2022 г	2022 г	2019-2020 г	2021-2022 г	2022 г
Время года	весна-лето	осень-лето	лето-осень	весна-лето	осень-лето	лето-осень	весна-лето	осень-лето	лето-осень	весна-лето	осень-лето	лето-осень
Продолжительность стадий (в днях)	8 дней	11 дней	15 дней	24 дней	16 дней	22 дней	8 дней	13 дней	12 дней	6 дней	3 дня	7 дней
Средняя температура (в °С)	+25°С	+20°С	+24°С	+25°С	+20°С	+24°С	+25°С	+20°С	+24°С	+25°С	+20°С	+24°С

Наши исследования проходили в течении 3 лет с ноября 2019 по декабрь 2022 года, где нами получены три поколения личинок восковой моли. Первое поколение личинок было получено весной в мае месяце 2020 года. Второе поколение в октябре 2021 года. Третье поколение в октябре 2022 года. Фенологические наблюдения показали, что самки откладывают яйца на 2-3 день после вылупления из кокона. Развитие личинок в яйцах в среднем продолжается от 8 до 15 суток. Жизнедеятельность личинок в наших опытах примерно длится от 16 до 24 дней. Период куколки длится от 8 до 13 дней. Соответственно взрослая форма бабочки восковой моли в наших условиях живет дольше при температуре 25 градусов в летний период. В таблице 1, показана зависимость развития личинок от температурного режима при содержании. При понижении температуры до 15 градусов личинки замедляют свою жизнедеятельность, активность снижается.

### 2.2.2. Органолептические показатели проб пчелиного воска



Рисунок 13. Жизнедеятельность личинки восковой моли

При выведении поколений личинок восковой моли мы содержали их на двух типах кормов - контрольный вариант содержали на старых пчелиных сотах, опытные- на пчелином воске с медом. Результаты показаны в таблице 2. Средняя масса личинок была больше на 2,5 раза у личинок, содержащихся в контрольном варианте, но количество личинок было больше при содержании в чистом пчелином воске с медом.

**Таблица 2**

**Сравнительный анализ физиологических параметров на двух основных типах кормов**

Показатель \ Питательная среда	Контроль (старые пчелиные соты)	Чистый пчелиный воск и мёд
Средняя масса личинок, (мг)	140	64
Продолжительность развития личинок от яйца до стадии куколки, (сут.)	40	37

Органолептические показатели проб пчелиного воска показаны в таблице 3. Приобретенные пчелиные воски для экспериментов мы оценивали по цвету, запаху, структуре.

**Таблица 3**

**Сравнительный анализ показателей исследуемых проб пчелиного воска**

Показатель	Проба №1	Проба №2
Цвет	Темно - желтый	Темно-коричневый
Запах	Естественный восковой	Естественный восковой
Структура	Однородная, мелкозернистая	Однородная, мелкозернистая

### 2.3. Данные фенологических наблюдений за утилизацией полиэтилена личинками восковой моли

В опытах по утилизации полиэтилена мы рассматривали два варианта по количеству личинок в контейнерах. Первый вариант – по 1 личинке. Второй вариант – по 15 личинок. Эксперименты по утилизации полиэтилена были проведены в 4-х повторностях.

В таблице 4 показана скорость утилизации полиэтилена личинками в течение суток. Так, из таблицы видно, что 1 личинка в мае месяце за сутки в среднем поедает 30,4 мм<sup>2</sup>, тогда как в октябре на 4,1 мм<sup>2</sup> утилизация личинкой осуществляется меньше. Такую же закономерность мы наблюдали за 15 личинками во втором и третьем вариантах опытов. Весной 15 личинок утилизировали на 58,3 мм<sup>2</sup> больше. Анализируя полученные результаты можно сказать, что жизнедеятельность личинок активнее проходит в весенний период, соответственно утилизация полиэтилена личинками за сутки выше в мае месяце.

**Таблица 4**

**Сравнительный анализ утилизации полиэтилена личинками в течение суток**

Год исследования	Кол-во личинок, шт.	Общий размер полиэтилена, мм <sup>2</sup>	Размер утилизированного фрагмента полиэтилена, мм <sup>2</sup>			
			за 22 ч.	за 24 ч.	за 24 ч.	Среднее за сутки
май 2020 г.	1	60000	39,2	22	30	30,4
	15	60000	580	330	450	453,3
октябрь 2021 г.	1	63000	17	20	42	26,3
	15	63000	255	300	630	395
октябрь 2022 г.	1	63000	16,8	19,8	41,8	26,1
	15	63000	253	298	627	393

## Поедание полиэтилена личинками восковой моли

Таблица 5

### Сравнительный анализ утилизации полиэтилена личинками в течение месяца

Год исследования	Кол-во личинок, шт.	Общий размер полиэтилена, мм <sup>2</sup>	Средний размер утилизированного фрагмента полиэтилена, мм <sup>2</sup>		% утилизации от общего размера полиэтилена	Среднее за сутки
			за 24 ч.	за 1 месяц		
май 2020 г.	1	60000	30,4	912	1,5	30,4
	15	60000	453,3	13600	22,7	453,3
октябрь 2021 г.	1	63000	26,3	790	1,3	26,3
	15	63000	395	11850	18,8	395
октябрь 2022 г.	1	63000	25,7	784	1,2	25,7
	15	63000	389	11780	18,2	389

Из таблицы 5 видно, что % утилизации от общего размера полиэтилена 1 личинкой в весенний период составляет 1,5 %, что на 0,2% больше, чем в осенний период в результате двух лет, соответственно 15 личинок в мае перерабатывают 22,7% полиэтилена, тогда как осенью от 18,2% до 18,8%.



Рисунок 14. Поедание личинками фрагмента исследуемого полиэтилена



Рисунок 15. Фрагмент полиэтилена съеденного личинкой за 3 дня

#### 2.4. Определение органических соединений в личинках восковой моли методом хроматографии

Нами проведен анализ органических соединений, содержащихся в личинках восковой моли, питавшихся полиэтиленом методом хроматографии на тонком слое сорбента «Sorbfil (силуфоловая пластинка)» (Россия) в системах растворителей: гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота с соотношением 8:2:0,1. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6

#### Определение содержания органических соединений в экстрактах личинок восковой моли методом тонкослойной хроматографии

Название соединений	значения $R_f$	
	Личинки, которые питались полиэтиленом, $R_f$	Личинки, которые не питались полиэтиленом, $R_f$
Диглицериды	0,166	0,194
Свободные жирные кислоты	-	0,416
Воски	0,764	0,830



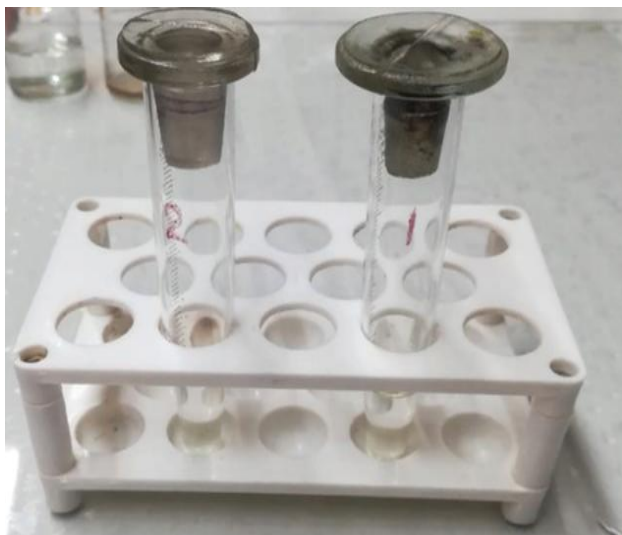


Рисунок 16. Экстракт двух личинок

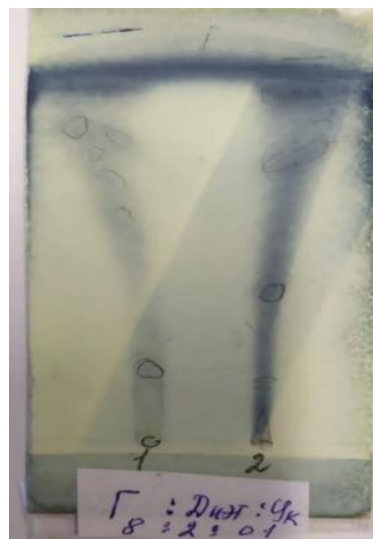


Рисунок 17. Хроматограмма личинок 1 и 2

в системе

Гексан 8: Диэтиловый эфир 2: уксусная кислота 0,1

Проявитель:  
10% раствор  
серной  
кислоты в  
этаноле.

Рисунок 18.  
Проявитель

В ходе исследования мы получили, что в тканях личинок содержатся диглицериды и воски. Из таблицы 6 видно, что личинки, которые питались полиэтиленом, не содержат свободные жирные кислоты или они находятся в минимальном количестве.

Также в лаборатории биохимии Института биологических проблем криолитозоны был проведён анализ методом газовой хроматографии – масс-спектрометрия ГХ-МС, низкомолекулярных соединений, содержащихся в личинках большой восковой моли и их экскрементах, питавшихся полиэтиленом. Из таблицы 7 видно, что основными низкомолекулярными соединениями экскрементов личинок являлись мочевая кислота (Uric acid) и жирные кислоты (Palmitic Acid, Oleic Acid). В личинках и их экскрементах обнаружен октакозан (Octacosane), наличие данного алкана может указывать на расщепление полиэтилена до более низкомолекулярных соединений, под действием ферментов содержащихся в пищеварительном тракте личинок и последующим их окислением до органических и жирных кислот, которые были обнаружены в исследуемых образцах.

**Содержание низкомолекулярных соединений в метанольных экстрактах личинок  
восковой моли и их экскрементах, питавшихся полиэтиленом**

Название соединений	Содержание, мг/г	
	Личинки	Экскременты
<b>Органические и жирные кислоты</b>		
Молочная кислота	0.60	0.15
Пальмитиновая кислота	1.85	1.85
Линолевая кислота	0.46	0.05
Олеиновая кислота	2.01	1.49
Стеариновая кислота	0.50	0.31
Мочевая кислота	0.00	4.21
<b>Липидные остатки</b>		
Фосфорная кислота, бис(триметилсилил) 2,3- бис[(триметилсилил)окси]пропиловый эфир	5.21	1.27
1-Монопальмитин	0.15	0.06
1-Моноолеоилглицерин	0.10	0.00
<b>Алканы</b>		
Октакозан	0.11	0.05

**2.5. Математические расчеты по утилизации полиэтилена за жизненный цикл личинки  
восковой моли**

Математические расчеты мы произвели по средним величинам наших экспериментов. Данные взяли с учетом условий содержания и времени года. В экспериментах длина исследуемого фрагмента полиэтилена составляет 8,5 см, ширина 6,0 см, общая площадь которой равна 4624 мм<sup>2</sup>, которая представлена на рисунке 18. На этом рисунке показан пример фрагмента поедания полиэтилена 1 личинкой за три дня. Средняя площадь съеденного полиэтилена 1 личинкой в день равен 26,3 мм<sup>2</sup> (79:3=26,3).

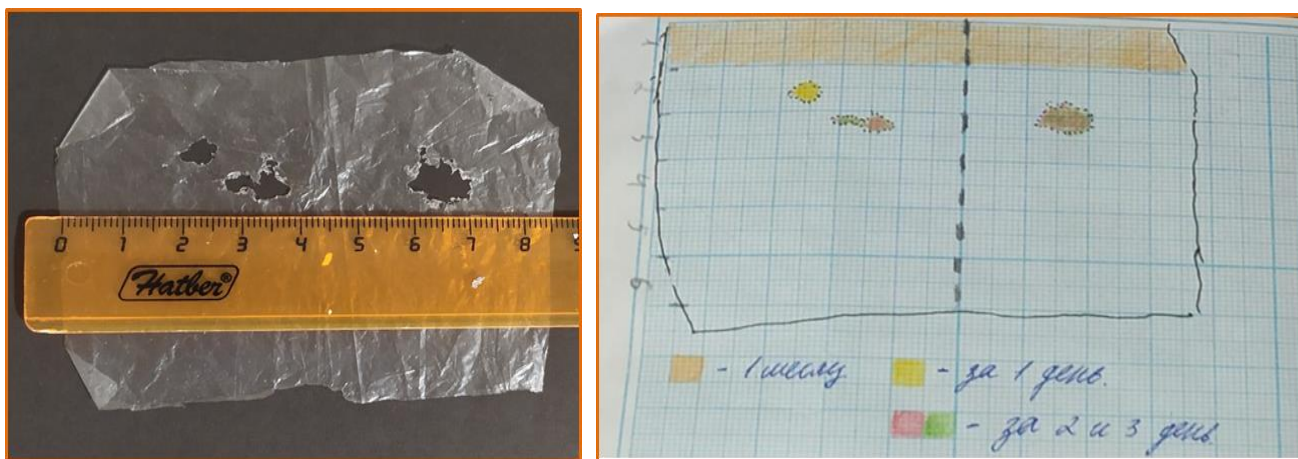


Рисунок 19. Фотография и рисунок на миллиметровой бумаге исследуемого полиэтилена, утилизированного 1 личинкой за 3 дня и расчеты за 1 и 6 месяцев.

Тогда средняя площадь поедания полиэтилена одной личинкой за 1 месяц составит 789 мм<sup>2</sup> (26,3\*30=789), которая на рисунке показана оранжевым цветом. Соответственно, весь исследуемый фрагмент с общей площадью - 4624 мм<sup>2</sup> смогут полностью утилизировать 6 личинок восковой моли примерно за 6 месяцев. (4624:789=5,8 ≈ 6), так как жизненный цикл одной личинки продолжается до 30 дней. Вычисления математических отклонений:

$$42-20=22 \text{ мм}^2$$

$$22+3=25 \text{ мм}^2$$

$$25:2=12,5 \text{ мм}^2$$

$$12,5+17=29,5 \text{ мм}^2$$

$$29,5*30=885 \text{ мм}^2$$

Сравнительный анализ результатов 3-летних опытов показывает, что 15 личинок смогут утилизировать 1 полиэтиленовый пакет от 1,5-5 месяцев. В итоге мы пришли к выводу, что весь полиэтиленовый пакет с общим размером до 63000 мм<sup>2</sup> могут утилизировать 2400 личинок за 1 день.

Математические расчёты представлены снизу:

1.  $63000 : 26,3 = 2395,4$  (количество предполагаемых личинок, способных утилизировать 1 пакет за сутки)
2. 480 мм<sup>2</sup> - размер фрагмента соты в котором развиваются 200 личинок
3. 130 500 мм<sup>2</sup> - размер стандартной восковой соты в котором развиваются 54 375 личинок

Пример вычисления:

$$x = \frac{130\ 500 * 200}{480} = 54\ 375 \text{ (Личинки, которые могут развиваться в одной стандартной соте)}$$

$$54\ 375 : 2395,4 = 22,6 \text{ (Количество предполагаемых утилизированных пакетов за сутки).}$$

Поэтому мы считаем, что данный метод утилизации является эффективным способом, отвечающий требованиям зелёной химии.

## 2.6. Экологическая эффективность утилизации полиэтиленового пакета биологическим методом

Таблица 8

### Сравнение методов утилизации полиэтиленовых отходов

Общепринятые методы утилизации полиэтиленовых отходов	Схема стадий утилизации полиэтиленовых пакетов с помощью личинок восковой
<p data-bbox="87 504 406 660">Организация свалок</p> <p data-bbox="422 504 766 660">Организация свалок – самый дешёвый, но при этом недальновидный способ утилизации.</p>	 <p data-bbox="813 840 1236 918">Рисунок 21. Измерение полиэтиленового пакета в мм<sup>2</sup></p>
<p data-bbox="87 728 406 884">Сжигание отходов</p>  <p data-bbox="87 1142 406 1220">Рисунок 20. Мусорный полигон</p> <p data-bbox="422 716 766 1220">При сжигании полиэтилена может выделяться диоксин, который может поражать иммунную систему, гормональные нарушения и раковые заболевания. Под воздействием высоких температур и солнечных лучей полиэтилен выделяет токсичный формальдегид.</p>	 <p data-bbox="1252 1131 1556 1209">Рисунок 22. Личинки восковой моли</p>
<p data-bbox="87 1288 406 1444">Вторичное использование отходов</p> <p data-bbox="422 1265 766 1478">Вторичное использование отходов наиболее безопасный способ по сравнению с двумя первыми, но затратный.</p>	 <p data-bbox="821 1444 1252 1512">Рисунок 23. Фрагмент остатка полиэтилена после поедания</p> <p data-bbox="805 1534 1540 1691">Личинки поедают полиэтилен, расщепляя их в пищеварительной системе, возможно при участии бактерий содержащихся в ней, без вредных воздействий на окружающую среду.</p>

В современном мире полиэтиленовый пакет имеет большой спрос в быту. Но после использования оказывается мусором, который создает большую экологическую проблему по вопросу его утилизации. Существуют разные методы утилизации полиэтиленовых отходов, при этом люди выбирают наиболее экономически выгодные методы такие как сжигание, захоронение, химическую и механическую утилизацию. При этом полиэтиленовые отходы, попадая в мусорный полигон, будут разлагаться в течение сотен лет, отравляя при этом почву и воду. При этом, при

сжигании их в окружающую среду попадают токсичные газы, которые вызывают различные болезни. Мы предлагаем биологический метод утилизации полиэтиленовых пакетов с помощью личинок восковой моли, который экологически эффективный и безопасный, так как при утилизации не выделяются опасные канцерогенные вещества. В наших исследованиях мы выяснили, что личинки восковой моли действительно способны утилизировать пакеты. При этом мы считаем, что данная работа требует дальнейшего изучения по выяснению типа питания личинок. Если найти альтернативный способ питательной среды для выращивания личинок, то экономическая эффективность будет выше, по сравнению с существующими способами утилизации. Поэтому мы считаем, что данный метод утилизации является одним из перспективных эколого-экономических методов, отвечающий требованиям зелёной химии очищающий окружающую среду.

## ВЫВОДЫ

### Из вышесказанного, можно сделать следующие выводы

1. Из литературных данных мы выяснили, что полиэтилен – это сложное органическое соединение, перерабатываемое сложным способом. Полиэтилен плохо разлагается, при сжигании выделяет токсичные канцерогенные вещества, которые могут вызывать раковые заболевания у людей.
2. В результате трехлетних исследований мы получили три поколения личинок восковой моли. Фенологические наблюдения показали, что развитие личинок в яйцах продолжается от 8 до 11 суток. Продолжительность стадии личинок длится от 16 до 24 дней, а их жизнедеятельность зависит от условий среды, в первую очередь от температуры и влажности воздуха.
3. В ходе экспериментов мы выяснили, что личинки действительно утилизируют полиэтилен и средняя площадь утилизированного полиэтилена за 1 день может быть в среднем от 26,3 мм<sup>2</sup> до 30 мм<sup>2</sup>.
4. В ходе анализов мы выяснили, что при непрерывном разведении одна личинка восковой моли сможет утилизировать 1 полиэтиленовый пакет от 4-6,5 лет, соответственно 15 личинок смогут утилизировать пакет от 1,5-5 месяцев.
5. Математические вычисления показали, что один целый полиэтиленовый пакет будет полностью утилизирован 2400 личинками восковой моли за сутки.
6. Анализ методом газовой хроматографии низкомолекулярных соединений, содержащихся в личинках большой восковой моли и их экскрементах, питавшихся полиэтиленом показал наличие алкана октакозана (Octacosane). Оно может указывать на расщепление полиэтилена до более низкомолекулярных соединений, под действием ферментов содержащихся в пищеварительном тракте личинок и последующим их окислением до органических и жирных кислот, которые были обнаружены в исследуемых образцах.
7. Биологический метод утилизации с помощью личинок восковой моли является перспективным, экологически чистым и очень эффективным способом, отвечающий требованиям зелёной химии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Большая восковая моль — Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Большая\\_восковая\\_моль](https://ru.wikipedia.org/wiki/Большая_восковая_моль) (дата обращения 27.02.2022).
2. Изучение влияния различных факторов на процессы деградации полиэтиленсодержащих отходов [Электронный ресурс]. Режим доступа : URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=41368736> (дата обращения 26.02.2022).
3. Осокина А. С. 075 Биологические основы разведения большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.) как источника биологически активных веществ: [монография] / А. С. Осокина, Л. М. Колбина, А. В. Гушин. – Ижевск: Издательство Анны Зелениной, 2019. – 166 с. ISBN 978-5-6042106-5-9
4. Рачков А.К., Кондрашова М.Н., Спиридонов Н.А. Новая жизнь старого лекарства - Пчеловодство 2000, 5.
5. Сравнительный микробиологический анализ различных фракций продуктов жизнедеятельности личинок *G.Mellonella* L. In vitro [Электронный ресурс]. Режим доступа : URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=43146134> (дата обращения 27.02.2022).