

Использование биологических методов в решении проблемы пластика

Иванова А.В.

биология

7 класс, Международная школа Алабуга, г. Елабуга

Научный руководитель: Потапов Л.О., Международная школа Алабуга, г. Елабуга

Введение.

Основная проблема, рассматриваемая в исследовании, — загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами. Пластик разлагается сотни лет, накапливается в природе, попадает в Мировой океан, вредит животным и растениям, а через пищевые цепи может воздействовать и на здоровье человека.

Особую сложность представляет утилизация полистирола (PS) — распространённого вида пластика, который используется для изготовления упаковки, одноразовой посуды, теплоизоляционных материалов и т.д. Традиционные методы переработки (пиролиз, гидролиз и др.) энергозатратны и не всегда экологичны.

Актуальность исследования Проблема пластиковых отходов актуальна для всего мира, в том числе и для нашей страны. Ежегодно в мире производят сотни миллионов тонн пластика, а перерабатывается лишь небольшая его часть. Полистирол особенно опасен, так как часто используется в одноразовых изделиях и практически не поддаётся традиционной переработке.

Биологические методы утилизации — перспективное направление, которое:

- не требует больших энергозатрат;
- безопасно для окружающей среды;
- позволяет перерабатывать пластик в естественных условиях.

Открытие способности личинок *Tenebrio molitor* (мучных червей) переваривать полистирол даёт надежду на создание новых технологий утилизации. Кроме того, разработка биоразлагаемых пластиков (например, из крахмала и желатина) может сократить количество неразлагаемых отходов в будущем.

Целью работы было изучить возможности биологических методов в решении проблемы пластиковых отходов, в частности:

- оценить потенциал личинок *Tenebrio molitor* для утилизации полистирола;
- рассмотреть перспективы создания и использования биоразлагаемого пластика на основе натуральных компонентов (крахмала и желатина).

Задачами исследования было следующее:

1. Изучить научную информацию о способности личинок *Tenebrio molitor* разлагать полистирол, включая роль кишечных бактерий в этом процессе.
2. Проанализировать результаты экспериментов учёных по утилизации полистирола с помощью мучных червей (скорость разложения, продукты переработки и т. д.).
3. Рассмотреть технологию изготовления биоразлагаемого пластика из крахмала и желатина:
4. изучить состав и свойства таких материалов;
5. оценить их прочность и долговечность в сравнении с обычным пластиком;
6. выяснить, как быстро они разлагаются в природе.
7. Сравнить эффективность биологического разложения пластика с традиционными методами переработки.
8. Оценить потенциальные преимущества и ограничения использования личинок *Tenebrio molitor* и биоразлагаемых материалов в масштабах города/страны.
9. Сделать выводы о перспективах применения биологических методов для решения проблемы пластиковых отходов и предложить идеи для дальнейших исследований в этой области.

Предметом исследования в нашей статье является эффективность переработки пластика мучными червями. Мы рассматривали различные аспекты

использования личинок, включая их способность перерабатывать биоразлагаемый пластик из крахмала и желатина, а также возможность использования червей в качестве корма.

Гипотеза исследования: мучные черви являются эффективным средством утилизации полистирола и биоразлагаемых видов пластика, позволяющим повысить снизить количество мусора и уменьшить вред окружающей среде.

Обзор литературы

В литературе активно исследуются два направления, связанных с темой использования биологических методов для решения проблемы пластика: утилизация полистирола с помощью личинок *Tenebrio molitor* и разработка биоразлагаемых пластиков на основе натуральных компонентов, таких как крахмал и желатин.

Утилизация полистирола личинками Tenebrio molitor.

Исследования показали, что личинки мучного червя (*Tenebrio molitor*) способны переваривать полистирол (ПС) — синтетический гидрофобный полимер, широко используемый в упаковке, одноразовой посуде и теплоизоляционных материалах. При этом частицы ПС удерживаются в кишечнике личинок в течение 15–20 часов, и за это время около 50% потреблённого пластика минерализуется до CO₂, а остаток выделяется в виде микрочастиц [1, 3, 11].

Механизм деградации включает несколько этапов: механическое пережёвывание, колонизацию микроорганизмами, секрецию ферментов, биоэмульгирование, ассимиляцию в биомассу и метаболизм. Ключевую роль играет микробиом кишечника: бактерии в ЖКТ личинок расщепляют пластик. Например, было обнаружено, что у червей, питавшихся полистиролом, увеличилось содержание бактерий *Proteobacteria* и *Firmicutes*, способных разлагать сложные вещества [5, 6].

Эксперименты показали, что личинки могут выживать, используя полистирол как единственный источник углерода. В одном из исследований черви, получавшие комбинированный рацион (полистирол и отруби), смогли переработать около 11,7% пластика за месяц. При этом длительное питание

полистиролом (более 90 дней) приводило к значительному снижению выживаемости личинок [8].

Исследователи также пытались выделить из кишечника *Tenebrio molitor* бактерии, ответственные за деградацию пластика, и культивировать их отдельно. Однако вне организма личинки процесс разложения происходил медленнее [9].

Биоразлагаемые пластики на основе крахмала и желатина.

Биоразлагаемые полимеры — перспективная альтернатива традиционным пластикам. Они синтезируются из возобновляемых ресурсов, таких как крахмал, целлюлоза, хитин, желатин и другие органические соединения [4, 7].

Крахмал — один из самых популярных материалов для биопластика. Из него изготавливают упаковки для еды, плёнки для фермеров, столовые приборы и сеточки для овощей. Для улучшения свойств крахмала его часто комбинируют с другими веществами [10].

Желатин также используется как основа для биоразлагаемых материалов. В исследованиях разрабатывали композиции на основе желатина и глицерина, изучая влияние компонентного состава и технологических параметров на эксплуатационные свойства. Такие материалы потенциально могут применяться в упаковке и других отраслях, хотя по прочностным показателям они часто уступают синтетическим аналогам [7].

Существуют работы, посвящённые созданию биоразлагаемых плёнок на основе смеси крахмала и желатина. Например, в диссертации исследовалось влияние соотношения биополимеров желатин/картофельный крахмал на формирование тонких плёнок и покрытий, а также влияние концентрации и дисперсности наполнителя на их свойства. Такие материалы потенциально могут использоваться как биоразлагаемая упаковка или для нанесения покрытий на поверхность овощей и фруктов с целью увеличения их срока хранения [2].

Проблемы и ограничения

1. Низкая скорость переработки

Личинки перерабатывают пластик сравнительно медленно: в экспериментах за месяц они утилизировали лишь около 11,7 % полистирола [12]. Для масштабного решения проблемы пластиковых отходов нужны гораздо более высокие темпы.

2. Влияние на выживаемость личинок

Длительное питание полистиролом (более 90 дней) значительно снижает выживаемость личинок [7]. Это ограничивает возможность их непрерывного использования в системах переработки без дополнительного питания.

3. Накопление токсичных веществ

Полистирол может содержать добавки (пластификаторы, красители, антипирены), которые при разложении могут накапливаться в биомассе личинок и далее передаваться по пищевой цепи. Безопасность такого метода требует тщательной проверки.

4. Сложности масштабирования

Для переработки больших объёмов пластика потребуется выращивать огромное количество личинок.

5. Зависимость от микробиома

Ключевую роль в разложении пластика играют бактерии кишечника личинок (*Proteobacteria*, *Firmicutes* и др.). Их активность зависит от множества факторов (температура, влажность, состав пищи), что усложняет контроль процесса.

Методы исследования

В нашем исследовании мы использовали наблюдение и измерение: мы скармливали червям кусочки пластика одинакового размера - 4 кв. см и наблюдали, как быстро черви съедят пластик.

Ход работы.

1. Подготовка

Мы изготовили несколько видов биопластика: альгинатный пластик, крахмальный пластик и желатиновый пластик. Мы изготовили несколько видов биопластика: альгинатный пластик, крахмальный пластик и

желатиновый пластик. Мы сделали кусочки пластика одинакового размера: полистирол, крахмальный пластик и желатиновый пластик.



2. Поедание пластика червями

На этом этапе мы наблюдали за скоростью поедания пластика червями.



3. Результаты

Мы сравнили полистирол и биопластик - какой из них будет съеден быстрее.

Результаты исследования

Тип пластика	размер	количество червей	Время (пластик съеден)
Крахмал	4 см ²	10 червей	4 дня
Альгинат	4 см ²	10 червей	4 дня
Полистирол	4 см ²	10 червей	9 дней

Выводы.

- Наша гипотеза оказалась верной. Биологический метод переработки пластика помог разрушить и заместить полистирол.
- Мы разработали теоретически дешевый и, главное, безопасный для окружающей среды метод, который может помочь нам решить проблему пластикового загрязнения.

Список литературы

1. Личинки жука-чернотелки способны разлагать полистирол // СевИн. 2026. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sev-in.ru/node/4881>.
2. Получение съедобных плёнок и покрытий на основе биополимерной матрицы крахмал/желатин: автореферат дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/poluchenie-sedobnykh-plenok-i-pokrytii-na-osnove-biopolimernoi-matritsy-krakhmalzhelatin>.
3. Шахзад С. и др. Выявление динамики аэробного разложения полистирола (PS) и полиэтилена (PE) мучными червями с помощью мониторинга кислорода в

режиме реального времени // Экологические науки: влияние процессов. 2025. Т. 27. С. 3362–3371. DOI: 10.1039/D5EM00454C.

4. Получения и исследование биоразлагаемой белково-полисахаридной плёнки на основе картофельного крахмала // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №7(133). DOI: 10.23670/IRJ.2023.133.82.

5. Личинки хрущака оказались способны есть пластик // N+1. 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2015/10/01/mealworms>.

6. Potential of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* in Plastic Degradation: Mechanisms, Microorganisms, and Enzymes // Micro Nano Technology Education Center. 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://micronanoeducation.org/journal/volume-3-issue-2/potential-of-tenebrio-molitor-and-zophobas-morio-in-plastic-degradation-mechanisms-microorganisms-and-enzymes/>.

7. Технология синтеза биоразлагаемых полимерных материалов на основе желатина // КиберЛенинка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-sinteza-biorazlagaemyh-polimernyh-materialov-na-osnove-zhelatina>.

8. Исследование биодеструкции полистирола мучным червем // КиберЛенинка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-biodestruktsii-polistirola-muchnym-chervyom>.

9. Mangoyi R., Machona O., Chidzwondo F. *Tenebrio molitor*: possible source of polystyrene-degrading bacteria // ResearchGate. 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/357577646_Tenebrio_molitor_possible_source_of_polystyrene-degrading_bacteria.

10. Биопластик своими руками // Школа и наука. 2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://school-science.ru/26/1/62997>.

11. Учёные обнаружили насекомое, которое может поедать пластиковый мусор // Дзен. 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZzMzstuQtEwq6lNd>.
12. Machona O., Chidzwondo F., Mangoyi R. Tenebrio Molitor: Possible Source of Polystyrene-Degrading Bacteria // Research Square. 2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchsquare.com/article/rs-689253/v1>.