

УДК 502/504:595.782:678.742.2:547.422

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ
ПОЛИЭТИЛЕНОВ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛИЧИНКАМИ
GALLERIA MELLONELLA (INSECTA, LEPIDOPTERA, PYRALIDAE)**

**А. В. Васильева¹, Я. В. Медведева¹, Н. М. Костюкова², О. В. Никитин¹,
В. З. Латыпова¹, Р. С. Кузьмин³, Э. А. Шуралев^{1,4,5}, М. Н. Мукминов^{1,4}**

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420008, Казань, Кремлевская, 18

² Лицей имени Н. И. Лобачевского
Казанского (Приволжского) федерального университета
Россия, 420008, Казань, Рахматуллина, 2/18

³ ООО «Экоаудит»
Россия, 420073, Казань, Аделя Кутуя, 86/3

⁴ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования
Минздрава России – филиал Казанская государственная медицинская академия
Россия, 420012, Казань, Бутлерова, 36

⁵ Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности
Россия, 420075, Казань, Научный городок-2
E-mail: eduard.shuralev@mail.ru

Поступила в редакцию 21.06.2018 г., после доработки 19.11.2018 г., принята 10.12.2018 г.

Васильева А. В., Медведева Я. В., Костюкова Н. М., Никитин О. В., Латыпова В. З., Кузьмин Р. С., Шуралев Э. А., Мукминов М. Н. Сравнительный анализ биоповреждения полиэтиленов разных типов личинками *Galleria mellonella* (Insecta, Lepidoptera, Pyralidae) // Поволжский экологический журнал. 2019. № 1. С. 17 – 27. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-1-17-27>

Проведен сравнительный анализ способности личинок большой восковой моли (*Galleria mellonella*) к биоповреждению полиэтиленов разных типов. Исследованию подвергали 15 образцов полиэтилена (ПЭ) трех типов, различных по своим характеристикам: ПЭ-1 – фасовочный пакет для пищевых товаров (Petrothene LR 7340), ПЭ-2 – воздушная упаковка AIRplus для непивших товаров (Hostalen GF 4750) и ПЭ-3 – бытовой пакет для покупок (NPE 953). Скорость поедания разных типов полиэтилена составляла по массе до 1.078 мг личинка⁻¹ сут⁻¹, а по площади – до 61.8 мм² личинка⁻¹ сут⁻¹. Наибольшее число образовавшихся перфораций наблюдалось в образце ПЭ-1 – 0.857 ед. личинка⁻¹ сут⁻¹. Несмотря на то, что ПЭ-1 являлся предпочтительным в данном эксперименте, личинки большой восковой моли поедали все типы ПЭ. Большинство особей в контрольной и опытной группах были активными без стимуляции, единичные особи проявляли активность после стимуляции. Процессы меланизации наружных покровов личинок *G. mellonella* не отмечались ни в одной группе. Полученные результаты показателей выживаемости, подвижности, прироста массы и процессов меланизации указывают на отсутствие негативного воздействия на здоровье личинок при поедании полиэтилена. Использование образцов с разными характеристиками

позволило более широко оценить способность личинок большой восковой моли к биоповреждению полиэтиленовых отходов.

Ключевые слова: *Galleria mellonella*, полиэтилен, биоповреждения, ИК Фурье-спектроскопия.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-1-17-27>

ВВЕДЕНИЕ

Рост предметов потребления сопровождается увеличением количества бытовых отходов. Согласно отчету ООН за 2015 г. около двух миллиардов тонн твердых бытовых отходов (ТБО) образуется на нашей планете ежегодно. При этом на долю Российской Федерации приходится свыше 60 миллионов тонн (Обращение с отходами производства и потребления, 2016). Полимеры занимают относительно небольшое место в структуре ТБО, но именно пластмассы на основе синтетических полимеров создают глобальные экологические проблемы, обусловленные их стойкостью и длительным разложением в окружающей среде (Багрянцева, 2015). Всё больше внимания отводится новым подходам утилизации отходов с применением биологических методов их деградации (Тонкова и др., 2013), в том числе с применением бактерий (Matrosova et al., 2016; Elamin et al., 2017). Известны микробные сообщества, способные к деградации нефти, дизельного топлива, минеральных масел (Плешакова и др., 2017). Раньше считалось, что полиэтилен (ПЭ) не поддается биоразложению, так как он не встречается в природе. В последние годы появляется все больше публикаций об организмах, обладающих способностью перерабатывать, усваивать различные виды ПЭ (Сопрунова, Леонтьева, 2017). Выделен штамм бактерий *Ideonella sakaiensis* 201-F6, который гидролизует ПЭ с помощью специальных ферментов ПЭТаза и МЭТаза (Yoshida et al., 2016), в результате образуется терефталевая кислота и этиленгликоль, дальнейшие превращения которых хорошо описаны. Плесневые грибки *Penicillium simplicissimum* способны к частичной утилизации ПЭ (Restrepo-Flórez et al., 2014). Обитающие в кишечнике индийской моли (*Plodia interpunctella* Hübner, 1813) бактерии способны разложить 100 мг ПЭ за восемь недель (Yang et al., 2014).

Возможность использования большой восковой моли (*Galleria mellonella* Linnaeus, 1758) для разрушения полимерных отходов представляет новое направление в экологической утилизации ТБО. Впервые в 2017 году испанские ученые сообщили о способности *G. mellonella* перерабатывать ПЭ. Исследователями обнаружено, что 100 личинок за 12 ч переработали 92 мг ПЭ (Bombelli et al., 2017 a). При этом особенности биоповреждения разных типов ПЭ личинками *G. mellonella* на сегодняшний день до конца не изучены.

Предполагается, что личинки восковой моли смогли переработать ПЭ потому, что он похож на их обычную пищу. Вылупившиеся личинки *G. mellonella* питаются вначале медом, затем пергой и пчелиным воском, состоящим из смеси органических веществ (Осокина и др., 2016). В состав воска входят предельные углеводороды, формирующие углеродные связи С – С, аналогичные тем, которые имеются в структуре ПЭ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВ

Вопрос, может ли моль сама разрушать полиэтилен, весьма дискуссионный и не считается сообществом специалистов окончательно решенным. Некоторые авторы критически подходят к возможности использования *G. mellonella* для биодegradации полиэтилена (Weber et al., 2017). Возможно, биодegradацию осуществляют кишечные бактерии-симбионты, а гусеницы лишь производят механическое измельчение субстрата, что не эквивалентно процессу биодegradации. Либо же в переваривании как воска, так и ПЭ, участвуют пищеварительные ферменты личинок. К тому же, у насекомых, питающихся трудно усвояемыми к разложению субстратами, доля усвоения пищи от поглощенного объема несоизмеримо мала. Однако, по данным, полученным с помощью метода ИК-Фурье, было показано, что полиэтилен разлагается в организме личинок до этиленгликоля (Bombelli et al., 2017 a, b).

Цель данной работы – провести сравнительный анализ способности личинок *G. mellonella* к биоповреждению полиэтиленов разных типов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовали: коконы с куколками восковой моли *G. mellonella*, полученные с опытной пасеки Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета; образцы ПЭ различных типов, входящих в состав ТБО.

Определение типов образцов ПЭ проводили на ИК фурье-спектрометре ФТ-801 (Симекс, Россия), результаты обрабатывали, используя базу данных ООО «Экоаудит», предназначенную для получения, обработки и идентификации ИК спектров.

В ходе работы сконструировали биореактор для получения личинок восковой моли и садки для проведения экспериментальных исследований. Температуру и влажность в биореакторе определяли с помощью гигрометра психрометрического ВИТ-2 (Татхимреактив, Россия).

Показатели здоровья личинок (подвижность, меланизация, выживаемость) оценивали по ранее описанной методике (Гайдай и др., 2017). Массу личинок измеряли на аналитических весах DV215CD Discovery (Ohaus, Швейцария) с точностью до 0.01 мг. Для визуализации и учёта изменений наружных покровов личинок (степень меланизации) использовали цифровой USB-микроскоп DigiMicro Prof (DigiMicro, Китай), с программным обеспечением MicroCapture Pro Version 2.2.

Степень биоповреждения образцов ПЭ оценивали по изменению их массы (мг), а также количеству (ед.) и площади (мм^2) образующихся перфораций (мест выедания) на них. Определение массы образцов ПЭ осуществляли их взвешиванием на аналитических весах DV215CD. Для определения количества и площади образующихся перфораций образец подвергали сканированию на МФУ Laser Jet M1132 MFP (Hewlett-Packard). Для вычисления количества и измерения площади перфораций фото после сканирования обрабатывали с помощью программного обеспечения Universal Desktop Ruler 3.8.6498.

Определение типов образцов ПЭ. Исследованию подвергали 15 образцов ПЭ, представленные в составе ТБО. В образцах определяли размеры, массу. Методом

ИК Фурье-спектрометрии по проценту совпадения с данными, представленными в базе данных ООО «Экоаудит», было установлено, что все образцы можно сгруппировать в три типа, различных по своим характеристикам (табл. 1). Тип 1 (ПЭ-1) представлял собой фасовочный пакет для пищевых товаров ($n = 4$), тип 2 (ПЭ-2) – воздушная упаковка AIRplus для непищевых товаров ($n = 5$) и тип 3 (ПЭ-3) – бытовой пакет для покупок ($n = 6$).

Таблица 1

Характеристики образцов полиэтилена

Тип ПЭ	n	Процент совпадения с типом пластика по ИК-спектрофотометрическому анализу	Общая площадь, см ²	Общая масса, мг
ПЭ-1	4	77.9% Petrothene LR 7340, HDPE – 0.953 г/см ³	9048	5640
ПЭ-2	5	71.0% Hostalen GF 4750, HDPE – 0.950 г/см ³	2280	5050
ПЭ-3	6	54.2% NPE 953, LDPE – 0.919 г/см ³	29760	68100
Всего	15		4.1 м ²	78790

Примечание. n – количество образцов, HDPE – полиэтилен высокой плотности (низкого давления), LDPE – полиэтилен низкой плотности (высокого давления).

Использование в дальнейших исследованиях образцов с разными характеристиками позволило более широко оценить возможности применения личинок большой восковой моли для биоповреждения полиэтиленовых отходов.

Культивирование G. mellonella. Для выращивания и поддержания культуры моли были сконструированы и смонтированы три биореактора. Биореактор представляет собой твердый пластиковый куб с крышкой, его размеры: высота – 31 см, ширина – 23 см, длина – 28 см, объем: 19 964 см³ (0.02 м³). Для циркуляции воздуха на крышке и на одной стенке были прорезаны отверстия 10 x 5 см, которые с помощью скотча прикрыли металлической сеткой (размер ячеек сетки по площади не превышал 0.2×0.2 см).

В каждый биореактор заложили кормовую смесь в следующей пропорции: 1 : 3 : 3 – перга : пчелиный воск : мерва и по 100 коконов с куколками *G. mellonella*. В течение 52 суток в биореакторах проходил весь цикл развития восковой моли. Установлено, что *G. mellonella* успешно культивируется в искусственных условиях биореактора при низкой освещенности, температуре 25 – 30°C и влажности 67 – 80%.

Выявление предпочтения личинок в типе ПЭ. Для экспериментальных исследований были сконструированы садки. Садок представляет собой полиэтиленовую банку с размерами: высота 10 см, длина 5 см, ширина 5 см, объем 250 см³. На стенке садка было прорезано отверстие шириной 1.5 см и длиной 3 см, которое затем прикрыто металлической сеткой (размер ячеек 0.2×0.2 см) вышеуказанным способом.

В эксперименте использовали три образца ПЭ (см. табл. 1). Личинки восковой моли ($n = 60$) в возрасте 4 – 7 линек были разделены на две группы по 3 садка с 10 особями в каждой (контроль и опыт). Личинок поместили в садки, куда внесли по 5043±31 мг подкормки (пчелиный воск) – для контрольной группы, и образцы ПЭ (ПЭ-1: $m = 1492±28$ мг, ПЭ-2: $m = 1537±12$ мг, ПЭ-3: $m = 1495±9$ мг) – для опыт-

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВ

ных групп. Через 72 часа определяли массу образцов ПЭ, количество и площадь образовавшихся перфораций, с расчетом средней скорости поедания каждого образца и определением предпочтения личинок *G. mellonella*.

В эксперименте по определению изменения показателей здоровья личинок был использован образец ПЭ-1. Личинки восковой моли ($n = 300$) в возрасте 3 – 5 линек были разделены на две группы по 3 садка со 150 особями в каждой группе. Личинок поместили в садки, куда внесли по 15.0 ± 0.9 г подкормки (в соотношении пчелиный воск : мерва : перга = 3 : 3 : 1). В садки опытных групп также были добавлены образцы ПЭ-1 по 1862 ± 34 мг. Через 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 19 и 21 сутки в каждой группе проводили измерения массы подкормки, массы образца ПЭ, средней массы живых личинок, а также оценивали показатели выживаемости, подвижности личинок и процессов меланизации наружных покровов.

Математическая и статистическая обработка результатов. Математическую обработку результатов проводили с использованием следующих формул:

$$V_{\text{Од}} = X / (t \cdot n),$$

где $V_{\text{Од}}$ – скорость образования перфораций в образце ПЭ в расчете на 1 личинку, ед. личинка⁻¹ сут⁻¹; X – количество образовавшихся перфораций за определенное время, ед.; t – время исследования, сут; n – количество личинок.

$$\Delta M = M_0 - M_i,$$

где ΔM – масса образца, съеденного личинками, мг или мкг; M_0 – масса образца ПЭ в начале эксперимента, мг или мкг; M_i – масса образца ПЭ в конце эксперимента, мг или мкг.

$$V_M = \Delta M / (t \cdot n),$$

где V_M – скорость изменения массы в расчете на 1 личинку, мг личинка⁻¹ сут⁻¹; ΔM – масса образца, съеденного личинками, мг или мкг; t – время исследования, сут; n – количество личинок.

$$V_S = S / (t \cdot n),$$

где V_S – скорость изменения площади в расчете на 1 личинку, мм² личинка⁻¹ сут⁻¹; S – общая площадь образовавшихся перфораций за определенное время, мм²; t – время исследования, сут; n – количество личинок.

Для статистической обработки использовали программное обеспечение STATISTICA 10 (StatSoft, США). Данные представлены в виде средних значений \pm стандартное отклонение.

Для оценки различий в сформированных выборках использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным анализом по критерию Тьюки и двухвыборочный t -критерий Стьюдента. Предварительно были проверены условия их применимости: соответствие нормальному распределению (критерий Шапиро-Уилка (W)) и однородность дисперсий в группах (критерий Левена (F)). Результаты тестов представлены в табл. 2 – 4. Критерии были статистически незначимы ($p > 0.05$), что говорит о соответствии анализируемых распределений нормальному и однородности дисперсий.

Таблица 2

Результаты тестов Шапиро – Уилка и Левена

По данным средней массы личинок в начале эксперимента	По данным выживаемости личинок	По данным средней массы живых личинок в конце эксперимента
$W = 0.945, p = 0.70$	$W = 0.987, p = 0.98$	$W = 0.950, p = 0.74$
$W = 0.958, p = 0.76$	$W = 0.999, p = 0.97$	$W = 0.964, p = 0.79$
$F = 0.173, p = 0.69$	$F = 0.009, p = 0.93$	$F = 0.490, p = 0.52$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента установлено, что по изменению массы средняя скорость поедания воска в расчете на одну личинку в контрольной группе составила 7.51 мг личинка⁻¹ сут⁻¹. В опытных группах скорость поедания образцов ПЭ составила для ПЭ-1 – 1.078, ПЭ-2 – 0.178 и ПЭ-3 – 0.678 мг личинка⁻¹ сут⁻¹ (табл. 3). Результаты дисперсионного анализа указывают на статистически значимое (критерий Фишера, $F_{(2,6)} = 33.612, p < 0.001$) предпочтение личинок восковой моли в поедании ПЭ-1.

Таблица 3

Изменение массы образцов полиэтилена в опытных группах через 72 ч после начала эксперимента, мг

Группа	ПЭ-1			ПЭ-2			ПЭ-3		
	M_0	M_i	ΔM	M_0	M_i	ΔM	M_0	M_i	ΔM
О1	1462	1431	31	1524	1517	7	1502	1481	21
О2	1517	1478	39	1546	1541	5	1485	1468	17
О3	1496	1469	27	1542	1538	4	1498	1475	23
Сред. знач.	1492	1459	32	1537	1532	5	1495	1475	20
Станд. откл.	28	25	6	12	13	2	9	7	3
V_M , мг личинка ⁻¹ сут ⁻¹	1.078*			0.178			0.678		
Критерий Шапиро – Уилка, p	0.964, 0.64			0.964, 0.64			0.964, 0.64		
Критерий Левена, p	2.564, 0.16								

Примечание. M_0 – масса образца в начале эксперимента; M_i – масса образца в конце эксперимента; ΔM – масса съеденного личинками образца; V_M – скорость изменения массы в расчете на 1 личинку; * – $p < 0.001$.

Наибольшее число образовавшихся перфораций (табл. 4) наблюдалось в образце ПЭ-1 – 0.857 ед. личинка⁻¹ сут⁻¹, однако, данное количество статистически значимо не отличалось (критерий Фишера, $F_{(2,6)} = 1.694, p = 0.26$) от полученных в опытах с образцами ПЭ-2 (0.567 ед. личинка⁻¹ сут⁻¹) и ПЭ-3 (0.800 ед. личинка⁻¹ сут⁻¹). Результаты по ПЭ-2 и ПЭ-3 также не различались между собой.

Наибольшая площадь образовавшихся перфораций отмечена также в образце ПЭ-1 – 1853±336 мм², а показатель V_S составил 61.8 мм² личинка⁻¹ сут⁻¹, что статистически значимо ($F_{(2,6)} = 37.045, p < 0.001$) отличалось от соответствующих значений, полученных с другими образцами ПЭ. Апостериорный анализ показал также значимое отличие образцов ПЭ-2 и ПЭ-3 между собой. Следует отметить, что ПЭ в организме личинок восковой моли разлагается до этиленгликоля (Bombelli et al., 2017), что подтверждает процесс биodeградации.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВ

Таким образом, установлено, что ПЭ-1 является предпочтительным для личинок большой восковой моли.

Таблица 4

Количество и площадь образовавшихся перфораций в образцах полиэтилена
через 72 часа после начала эксперимента

Группа	Количество образовавшихся перфораций в образце, ед.			Площадь образовавшихся перфораций в образце, мм ²		
	ПЭ-1	ПЭ-2	ПЭ-3	ПЭ-1	ПЭ-2	ПЭ-3
О1	22	18	27	1780	380	1220
О2	26	12	31	2220	280	980
О3	29	21	14	1560	220	1310
Сред. знач.	25.7	17.0	24.0	1853	293	1170
Станд. откл.	3.5	4.6	8.9	336	81	171
$V_{од}$, ед. личинка ⁻¹ сут ⁻¹	0.857	0.567	0.800			
V_S , мм ² личинка ⁻¹ сут ⁻¹				61.8*	9.8	39.0
Критерий Шапиро – Уилка, p	0.993, 0.84	0.964, 0.64	0.915, 0.43	0.964, 0.64	0.979, 0.73	0.935, 0.51
Критерий Левена, p		2.225, 0.19			2.685, 0.15	

Примечание. $V_{од}$ – скорость образования перфораций в расчете на 1 личинку, ед. личинка⁻¹ сут⁻¹; V_S – скорость изменения площади перфораций в расчете на 1 личинку, мм² личинка⁻¹ сут⁻¹; * – $p < 0.001$.

Влияние ПЭ на показатели здоровья личинок. Средняя масса личинок составила в опытных группах 40.17 ± 1.65 мг, в контрольных группах – 40.72 ± 1.24 мг и значимо не отличалась (двухвыборочный t -критерий Стьюдента, $t_{эмп} = 0.5$, $df = 4$, $p = 0.668$).

Различий в изменениях массы подкормки в опытных и контрольных группах не наблюдалось. Масса подкормки за 21 сутки уменьшилась в 2.0 – 2.5 раза. В опытной группе отмечалось уменьшение массы ПЭ в 4 раза, что указывает на его биоповреждение личинками *G. mellonella*.

К концу эксперимента в опытных группах $82.7 \pm 5.9\%$ личинок оставались живыми, что достоверно не отличается от показателя в контрольных группах – $86.7 \pm 5.5\%$ (двухвыборочный t -критерий Стьюдента, $t_{эмп} = 0.9$, $df = 4$, $p = 0.438$). Следовательно, поедание ПЭ не влияет на показатель выживаемости личинок. Средняя масса живых личинок в конце эксперимента отмечалась на уровне 126.42 ± 14.54 мг в контрольной группе и 118.64 ± 24.52 мг в опытной (двухвыборочный t -критерий Стьюдента, $t_{эмп} = 0.5$, $df = 4$, $p = 0.661$). Отсюда следует, что ПЭ не влияет на показатель прироста массы личинок. Большинство особей в контрольной и опытной группах были активными без стимуляции, единичные особи проявляли активность после стимуляции. Процессы меланизации наружных покровов личинок *G. mellonella* не отмечались ни в одной группе.

Таким образом, проведенные эксперименты указывают на отсутствие токсического эффекта полиэтилена на изучаемые показатели здоровья личинок *G. mellonella*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведен сравнительный анализ способности личинок *G. mellonella* подвергать биоповреждению ПЭ разных типов. При этом установлено, что предпочтением являлся фасовочный пакет для пищевых товаров, по ИК-фурье спектроскопии совпадающий на 77.9% с типом ПЭ Petrothene LR 7340, HDPE – 0.953 г/см³. Менее интенсивно протекало биоповреждение бытового пакета для покупок (54.2% NPE 953, LDPE – 0.919 г/см³). В наименьшей степени биоповреждению личинками подвергался образец ПЭ, который представлял собой воздушную упаковку AIRplus для непищевых товаров (71.0% Hostalen GF 4750, HDPE – 0.950 г/см³). Изученные в ходе экспериментальной работы показатели выживаемости, подвижности, прироста массы и процессов меланизации указывают на отсутствие негативного воздействия на здоровье личинок при употреблении ими полиэтилена.

Полученные результаты указывают на необходимость углубленного изучения механизмов биоповреждения ПЭ личинками *G. mellonella* (изучение микробного состава и ферментов кишечника), что в свою очередь даст предпосылки для разработки новых эффективных способов утилизации отходов.

Авторы выражают признательность коллегам, помогавшим в сборе и обработке материала, аспирантам Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета Э. Ш. Самигуллиной и Б. М. Умару.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багрянцева Е. П. Механизм биоразрушения композиционных упаковочных пленок почвенными микроорганизмами // Потребительская кооперация. 2015. № 3 (50). С. 52 – 56.
- Гайдай Д. С., Гайдай Е. А., Макарова М. Н. Личинки большой восковой моли (*Galleria mellonella*) как модельный объект для исследования новых лекарственных средств // Междунар. вестн. ветеринарии. 2017. № 2. С. 82 – 90.
- Обращение с отходами производства и потребления // Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. М., 2016. URL: <http://www.mnr.gov.ru/gosdoklad-eco-2015/waste.html> (дата обращения: 23.05.2018).
- Осокина А. С., Колбина Л. М., Гуцин А. В. Влияние кормления и условий содержания на рост личинок большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.) // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 7. С. 88 – 92.
- Плешакова Е. В., Беляков А. Ю., Деев Д. В. Особенности деградации углеводов бактериями, выделенными из буровых шламов // Поволж. экол. журн. 2017. № 2. С. 170 – 182. DOI: 10.18500/1684-7318-2017-2-170-182
- Сопрунова О. Б., Леонтьева (Каширская) А. О. Изменение прочностных свойств полиэтилена в процессе экспонирования в составе модельных экспериментов с микроорганизмами-деструкторами // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2017. № 2. С. 93 – 98.
- Тонкова Г. В., Валиуллин Л. Р., Егоров В. И., Шуралев Э. А. Экономические аспекты управления запасами продовольственного сырья и их экологизация // Актуальные проблемы обеспечения устойчивого экономического и социального развития регионов : сборник материалов 4-й междунар. науч.-практ. конф. Махачкала : Апробация, 2013. С. 21 – 23.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВ

Bombelli P., Howe C. J., Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella* // *Current Biology*. 2017 a. Vol. 27, iss. 8. P. R292 – R293. DOI: 10.1016/j.cub.2017.02.060

Bombelli P., Howe C. J., Bertocchini F. Response to Weber *et al.* // *Current Biology*. 2017 b. Vol. 27, iss. 15. P. R745. DOI: 10.1016/j.cub.2017.07.005

Elamin A. A., Steinicke S., Oehlmann W., Braun Y., Wanas H., Shuralev E. A., Huck C., Maringer M., Rohde M., Singh M. Novel drug targets in cell wall biosynthesis exploited by gene disruption in *Pseudomonas aeruginosa* // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12, iss. 10. P. e0186801. DOI: 10.1371/journal.pone.0186801

Matrosova L. E., Tremasov M. Ya., Cherednichenko Yu. V., Matveeva E. L., Ivanov A. A., Mukminov M. N., Ivanov A. V., Shuralev E. A. Efficiency of specific biopreparations in organic waste management // *Indian J. of Science and Technology*. 2016. Vol. 9, iss. 18. P. 1 – 9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93762

Restrepo-Flórez J. - M., Bassi A., Thompson M. R. Microbial degradation and deterioration of polyethylene – a review // *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2014. Vol. 88. P. 83 – 90. DOI: 10.1016/j.ibiod.2013.12.014

Weber C., Pusch S., Opatz T. Polyethylene biodegradation by caterpillars? // *Current Biology*. 2017. Vol. 27, iss. 15. P. R744 – R745. DOI: 10.1016/j.cub.2017.07.004

Yang J., Yang Y., Wu W. M., Zhao J., Jiang L. Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms // *Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 48, iss. 23. P. 13776 – 13784. DOI: 10.1021/es504038a

Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate) // *Science*. 2016. Vol. 351, iss. 6278. P. 1196 – 1199. DOI: 10.1126/science.aad6359

А. В. Васильева, Я. В. Медведева, Н. М. Костюкова и др.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF BIODAMAGE
OF VARIOUS POLYETHYLENE TYPES BY *GALLERIA MELLONELLA*
(INSECTA, LEPIDOPTERA, PYRALIDAE) LARVAE**

**Anna V. Vasileva¹, Iana V. Medvedeva¹, Nadezhda M. Kostyukova²,
Oleg V. Nikitin¹, Venera Z. Latypova¹, Ruslan S. Kuzmin³,
Eduard A. Shuralev^{1,4,5}, and Malik N. Mukminov^{1,4}**

¹ Kazan Federal University

18 Kremlyovskaya Str., Kazan 420008, Russia

² Lobachevsky Lyceum of Kazan Federal University

2/18 Rakhmatullina Str., Kazan 420008, Russia

³ Ecoaudit LLC

86/3 Adelya Kutuya Str., Kazan 420073, Russia

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education
of the Ministry of Healthcare of Russia – Kazan State Medical Academy Branch

36 Butlerova Str., Kazan 420012, Russia

⁵ Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

Nauchniy gorodok-2, Kazan 420075, Russia

E-mail: eduard.shuralev@mail.ru

Received 21 June 2018, revised 19 November 2018, accepted 10 December 2018

Vasileva A. V., Medvedeva I. V., Kostyukova N. M., Nikitin O. V., Latypova V. Z., Kuzmin R. S., Shuralev E. A., Mukminov M. N. Comparative Analysis of Biodamage of Various Polyethylene Types by *Galleria mellonella* (Insecta, Lepidoptera, Pyralidae) Larvae. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 1, pp. 17 – 27 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-1-17-27>

A comparative analysis of *G. mellonella* larvae's ability to biodamage polyethylene of various types was carried out. 15 polyethylene (PE) samples of three types differing in their characteristics were explored, namely: type 1 (PE-1) was a package for food products (Petrothene LR 7340), type 2 (PE-2) was AIRplus air package for non-food goods (Hostalen GF 4750), and type 3 (PE-3) was a household package for purchases (NPE 953). The eating rate of these polyethylene types was up to 1.078 mg larva⁻¹ day⁻¹ (by weight) and up to 61.8 mm² larva⁻¹ day⁻¹ (by area). The largest number of perforations formed was observed in the PE-1 sample, namely, 0.857 units larva⁻¹ day⁻¹. Although PE-1 was preferred in this experiment, greater wax moth larvae ate all PE types. Most of the larvae in the control and experimental groups were active without stimulation, but single larvae showed activity after stimulation. No processes of melanization of the outer covers of *G. mellonella* larvae were observed in all groups. The results of survival rates, mobility, weight gain and melanization processes indicate no negative effects on larvae health when eating polyethylene. The use of samples with various characteristics made it possible to more widely assess the ability of greater wax moth larvae to biodamage polyethylene wastes.

Key words: *Galleria mellonella*, polyethylene, biodamage, IR Fourier spectroscopy.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-1-17-27>

REFERENCES

- Bagryantseva E. P. The mechanism of biodegradation of composite packaging films by soil microorganisms. *Potrebitelskaya Kooperatsiya*, 2015, vol. 50, no. 3, pp. 52–56 (in Russian).
- Gaidai D., Gaidai E., Makarova M. Greater wax moth (*Galleria mellonella*) as a model object for researching new drugs. *Mezhdunarodniy Vestnik Veterinarii*, 2017, no. 2, pp. 82–90 (in Russian).
- Obrashchenie s otdodami proizvodstva i potrebleniya [Handling of production and consumption waste]. *Gosudarstvennyy doklad "O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu"* [State report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2015"]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2016. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/gosdoklad-eco-2015/waste.html> (accessed 23 May 2018) (in Russian).
- Osokina A. S., Kolbina L. M., Gushchin A. V. Influence of feeding and housing conditions on the growth of larvae of great wax moth (*Galleria mellonella* L.). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, vol. 30, no. 7, pp. 88–92 (in Russian).
- Pleshakova Ye. V., Belyakov A. Yu., Deev D. V. Peculiarities of hydrocarbon degradation by bacteria isolated from drill sludge. *Povolzhskiy J. of Ecology*, 2017, no. 2, pp. 170–182. DOI: 10.18500/1684-7318-2017-2-170-182 (in Russian).
- Soprunova O. B., Leontyeva A. O. Changes in strength properties of polyethylene during exposure in the composition model experiments with microorganisms – destructors. *Proceeding of Voronezh State University, Ser. Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2017, iss. 2, pp. 93 – 98 (in Russian).
- Tonkova G. V., Valiullin L. R., Egorov V. I., Shuralev E. A. Economic aspects of stock management of food raw materials and their greening. *Actual Problems of Ensuring Sustainable Economic and Social Development of Regions: Collection of Articles of the 4th Intern. Scientific-Practical Conf. Makhachkala, Aprobatsiya Publ.*, 2013. P. 21–23 (in Russian).
- Bombelli P., Howe C. J., Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 2017 a, vol. 27, iss. 8, pp. R292–R293. DOI: 10.1016/j.cub.2017.02.060
- Bombelli P., Howe C.J., Bertocchini F. Response to Weber et al. *Current Biology*, 2017 b, vol. 27, iss. 15, pp. R745. DOI: 10.1016/j.cub.2017.07.005
- Elamin A. A., Steinicke S., Oehlmann W., Braun Y., Wanas H., Shuralev E. A., Huck C., Maringer M., Rohde M., Singh M. Novel drug targets in cell wall biosynthesis exploited by gene disruption in *Pseudomonas aeruginosa*. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, iss. 10, pp. e0186801. DOI: 10.1371/journal.pone.0186801
- Matrosova L. E., Tremasov M. Ya., Cherednichenko Yu. V., Matveeva E. L., Ivanov A. A., Mukminov M. N., Ivanov A. V., Shuralev E. A. Efficiency of specific biopreparations in organic waste management. *Indian J. of Science and Technology*, 2016, vol. 9, iss. 18, pp. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93762
- Restrepo-Flórez J. - M., Bassi A., Thompson M. R. Microbial degradation and deterioration of polyethylene – a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2014, vol. 88, pp. 83–90. DOI: 10.1016/j.ibiod.2013.12.014
- Weber C., Pusch S., Opatz T. Polyethylene biodegradation by caterpillars? *Current Biology*, 2017, vol. 27, iss. 15, pp. R744–R745. DOI: 10.1016@j.cub.2017.07.004
- Yang J., Yang Y., Wu W. M., Zhao J., Jiang L. Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 48, iss. 23, pp. 13776–13784. DOI: 10.1021/es504038a
- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 2016, vol. 351, iss. 6278, pp. 1196–1199. DOI: 10.1126/science.aad6359