

УДК 502.52:638.157(045)

*А.С. Осокина, А.П. Бодалева, Г.Р. Платунова***ПЕРСПЕКТИВА БИОДЕСТРУКЦИИ ОТХОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИЧИНОК *GALLERIA MELLONELLA* L.**

Исследованы физиологические и биохимические процессы личинок *Galleria mellonella* для дальнейшего определения ферментного состава ЖКТ изучаемого насекомого с перспективой использования проведенных исследований при утилизации отходов полимерных материалов. В ходе работы проводился биохимический анализ корма с разным соотношением синтетических полимеров – PP, PS, LDPE (20 : 80, 50 : 50, 100 %) и естественной питательной среды, а также самих личинок, выращиваемых на них. Корреляционный анализ изучаемых показателей выявил сильную положительную и отрицательную взаимосвязь биохимических показателей питательных сред и личинок, равную 1. Статистически значимые морфофизиологические показатели личинок по многим параметрам остаются на уровне контроля (при  $P \leq 0,05$ ), не затормаживая нормальные процессы жизнедеятельности, что говорит о нейтральном влиянии пластика при всех изучаемых соотношениях и адаптации личинок *G. mellonella* к перевариванию изучаемых синтетических полимеров. Дальнейшие исследования следует продолжить в ракурсе изучения ферментного состава кишечника ЖКТ с перспективой использования в перерабатывающей промышленности пластиковых отходов.

*Ключевые слова:* личинка большой восковой моли, *Galleria mellonella*, синтетические полимеры, биохимический состав, морфофизиологические показатели, переработка.

В современном мире синтетические полимеры являются основой многих изделий, вытеснивших более экологичный материал – бумагу. С увеличением объемов производства полимеров появилась необходимость утилизации. В мире в среднем всего 15 % отходов пластмасс подвергается вторичной переработке, в Российской Федерации этот показатель не превышает 5 % [1; 2]. За один год в России образуется примерно 3,3 млн т пластиковых отходов. В структуре этих отходов три первых места занимают полиэтилен (HDPE, LDPE) – 34%, полиэтилентерефталат (PET) – 20,4 %, полистирол (PS) – 7,6 %, 7,4 % – полипропилен (PP) [3; 4]. В настоящее время существует несколько методов уничтожения полимерных отходов: сжигание, захоронение, термическое разложение, рециклинг и биodeградация. Два последних направления являются наиболее перспективными. Использование вторичных пластмасс в качестве новой ресурсной базы – одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире [5]. Вторым перспективным направлением утилизации бытовых синтетических полимерных отходов является поиск биодеструкторов. Микробиологическая биодеструкция занимает центральное место в данном направлении, вызываемая микроорганизмами различных систематических групп. Как правило, в разрушении пластика принимают участие смешанные ассоциации микроорганизмов, характеризующиеся широким разнообразием [6; 7]. Биodeградацию отходов полимерных материалов в 2017 г. изучали Э.Х. Сакаева, А.В. Мехоношина [8], выявив, что результатом воздействия микроскопических микроорганизмов на полимеры является потеря структурной целостности материала. Так, наиболее подвержены воздействию плесневых грибов следующие полимеры: полиэтилен низкого давления, биоразлагаемый пакет. Согласно полученным результатам в разложении полимерных отходов участвуют представители микроскопических грибов родов *Aspergillus*, *Mortierella*, *Penicillium*. Показано, что действие микроорганизмов на полимерные образцы вызывает их биodeградацию в разной степени. Это обусловлено как составом полимерных материалов, так и различной активностью разных видов микроскопических грибов.

В 2016 г. ученые-исследователи из Удмуртского НИИСХ в своих работах писали о способности личинок большой восковой моли прогрызать различные синтетические полимеры [9]. Но в 2017 г. группа ученых опубликовала результаты по биопереработке личинками *G. mellonella* полиэтилена за счет микроорганизмов желудочно-кишечного тракта, природу которых еще следует изучать [10]. Необходимо вспомнить, что естественным полимером, который поедает личинка *Galleria mellonella*, является пчелиный воск. Общим между синтетическими полимерами и пчелиным воском является наличие углеводородных цепочек (рис. 1).

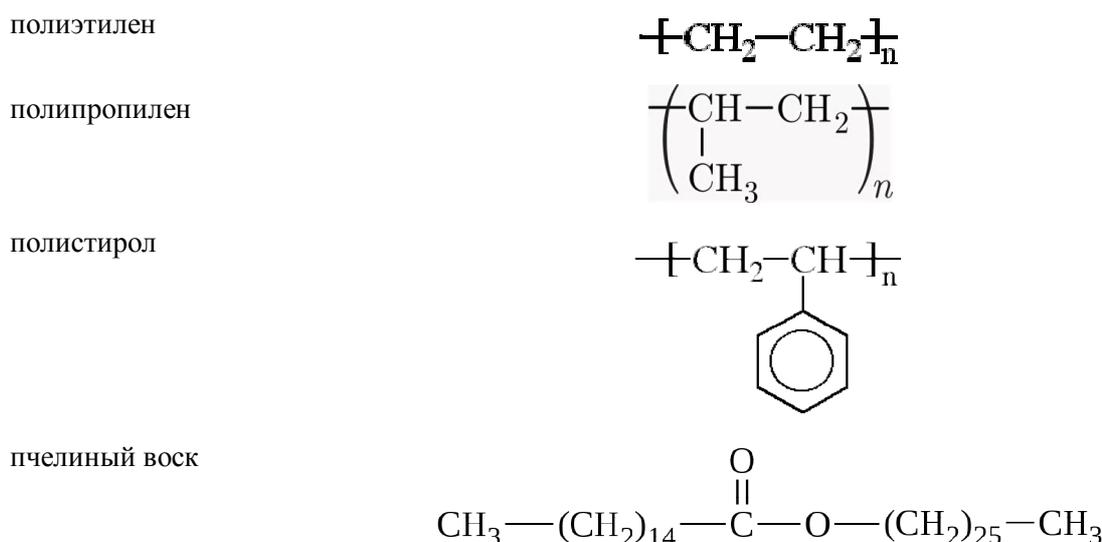


Рис. 1. Химические формулы пчелиного воска и синтетических полимеров

На основании изученного материала можно выдвинуть гипотезу, подтвержденную разными учеными-исследователями, что по природе синтетические полимеры схожи с пчелиным воском, поэтому ферменты, выделяющиеся при переваривании воска, могут перевариться в кишечнике личинки *G. mellonella*. Целью данной статьи является изучение физиологических и биохимических процессов личинок *Galleria mellonella* для дальнейшего определения (выделения) ферментного состава ЖКТ изучаемого насекомого с перспективой использования проведенных исследований при утилизации отходов полимерных материалов.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились в лабораторных условиях Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения УдмФИЦ УрО РАН. Наблюдения и исследования выполнялись в соответствии с «Методическими рекомендациями по лабораторному содержанию и разведению большой восковой огневки *Galleria mellonella* L.» [11]. Видовой состав уточнялся по «Определителю насекомых европейской части СССР» и «Моли и огневки – вредители зерна и продовольственных запасов» [12; 13]. Материалом исследований являлись личинки большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.), естественная питательная среда, синтетические полимеры. Исходный биоматериал взят с пасеки с. Шаркан (Шарканский район, Удмуртская Республика) из пчелиной семьи, пораженной *G. mellonella*. Для содержания восковой моли использовались банки объемом 1 л из полиэтиленфталата, с металлической сеткой на крышке для улучшения микроклимата.

Опыт ставился в трехкратной повторности. В каждой садке объемом 1 л размещали по 20 личинок I – II возраста, взятые из одной закладки яиц маточной культуры. В опытных испытаниях в качестве питательного субстрата использовались пасечные вытопки (мерва). При добавлении компонентов синтетических полимеров (PP и PS) в кормовую смесь их предварительно измельчали ножницами, после чего перемалывали в мельнице для дробления комбикормов МРС-2 до однородного состояния. Поскольку LDPE имеет более низкую плотность и легкую структуру, то в мельнице полимер намагничивался и прилипал к стенкам мельницы, поэтому данный материал измельчали ножницами на мелкие фрагменты. Естественный корм личинок *G. mellonella* – мерву (пасечные вытопки) предварительно растирали в ступке, после чего добавляли в зависимости от процентного соотношения синтетического полимера с питательной средой (табл. 1).

Подготовленные полимеры добавляли в естественный корм личинок (мерву) и перемешивали, добавляли 2 мл дистиллированной воды для создания гомогенной структуры. Продолжительность проведения опыта с личинками составляла 15 дней, после чего личинки замораживались в морозильной камере холодильника при температуре  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ . После опыта пробы подготавливали к измерениям.

Таблица 1

**Схема опыта по изучению влияния синтетических полимеров на личинки *G. mellonella* в зависимости от их процентного соотношения в корме**

Группа	Состав и навески
Контроль	Пасечные вытопки – 20 г
Опытная группа 1 (20% : 80%)	Синтетический полимер – 4 г, пасечные вытопки – 16 г
Опытная группа 2 (50% : 50%)	Пасечные вытопки – 10 г, синтетический полимер – 10 г
Опытная группа 3 (100%)	Синтетический полимер – 20 г

Для определения влияния питательной среды на морфофизиологические показатели *G. mellonella* исследовали следующие показатели:

1. Средняя масса личинок, куколок. Данный показатель определялся взвешиванием на электронных весах VIBRA AJ с точностью до 0,001 г.
2. Выживаемость вычислялась путем расчета процента оставшихся личинок или куколок на момент завершения опыта (на 15 день эксперимента).
3. Определение возраста личинок проводился путем измерения ширины головной капсулы, используя бинокулярный микроскоп МБС-10 с калибровочным окуляром-микрометром при х40. Замеры головной капсулы проводили по максимально широкой точке по методике Н.Г. Дуар [14] (табл. 2).

Таблица 2

**Параметры ширины головной капсулы по Н.Г. Дуар [14]**

Возраст личинки	Размер головной капсулы	
	Деления шкалы	мм
I	3–4,5	0,15–0,25
II	5–7	0,3–0,35
III	8–12	0,4–0,6
IV	13–18	0,65–0,85
V	18–30	0,9–1,5
VI	27–37	1,35–1,85
VII	38–46	1,9–2,3

Обработано 20 проб биологического материала. Определение сырого жира производили по ГОСТ 13496.15-97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира» [15]. Содержание общего азота и сырого протеина осуществляли по методике ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина» [16]. Первоначальную влажность определяли по ГОСТ 27548-97 «Корма растительные. Методы определения содержания влаги» [17]. Сырую золу в пробах определяли по ГОСТ 26226-95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы» [18].

Полученные данные подвергались статистической обработке методами вариационной статистики с проверкой достоверности результатов с использованием пакета прикладных программ MS OFFICE (Microsoft Excel). При этом вычисляли основные статистические характеристики: среднюю величину и ошибку средней ( $M \pm m$ ), крайние значения изучаемых параметров ( $Lim(\min-max)$ ). Значимость различия между двумя выборочными средними оценивали с помощью критерия Стьюдента ( $t$ ) при  $P < 0,05^*$  по методу Н.А. Плохинского [19], Г.Ф. Лакина [20] на персональном компьютере. Для выявления связей между параметрами применяли корреляционный анализ. Значимость коэффициента корреляции ( $r$ ) оценивалась по шкале Чеддока при том же уровне значимости.

### Результаты и их обсуждение

Для определения перспективы выделения микроорганизмов или ферментов кишечника личинок *G. mellonella* с целью дальнейшей утилизации отходов из полимерных материалов необходимо изу-

чить биохимический состав личинок и питательных сред, на которых они выращивались. Для установления корреляционной связи влияния питательной среды на развитие личинок *G.mellonella* нами был проведен биохимический анализ изучаемых питательных сред с разным соотношением синтетических полимеров. Поскольку содержание питательных веществ в варианте со 100% содержанием полимеров сведено к нулю, то данный вариант в дальнейшем не рассматриваем. В результате исследования установлено, что с уменьшением содержания процента пасечных вытопок в питательной среде, уменьшается содержание всех изучаемых биохимических параметров, а значит, снижется питательность среды (табл. 3).

Таблица 3

**Биохимический состав изучаемых питательных сред с разным соотношением полимеров**

Группа	Гигроскопическая влажность			Сырой протеин			Сырой жир			Зола		
	%											
	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE
к	7,36			11,19			23,68			1,75		
1	6,30	4,99	6,07	18,03	18,27	19,57	43,25	22,91	33,08	3,05	2,74	2,35
2	3,08	3,05	2,95	11,15	9,41	5,71	28,29	17,66	22,98	1,39	1,46	5,21
3	0,37	0,78	0,93	0,61	0,41	1,74	–	–	–	–	1,08	4,89

Сравнительный анализ гигроскопической влажности контрольных проб и питательных сред разных полимеров 1 опытной группы показал незначительное снижение уровня влажности в среднем на 1,58 %. Минимальный показатель влажности в группе PS, что на 2,37 % ниже контрольных значений. При этом во 2 опытной группе уровень гигроскопической влажности во всех изучаемых питательных средах на одном уровне 2,95–3,08, что в среднем ниже в 2,4 раза контроля. В 3 опытной группе со 100 % содержанием полимеров влажность в среднем в 10,6 раз ниже контрольных значений.

Содержание сырого протеина в 1 опытной группе с варьирует в одном диапазоне, при этом все значения выше контрольных в среднем на 7,33%. Во 2 опытной группе с соотношением 50 : 50 полученные значения колеблются до 5,71% с LDPE. В 3 опытной группе со 100 % содержанием полимеров минимальные значения содержания сырого протеина с содержанием PS – 0,41%, максимальные LDPE – 1,74 %.

Показатели сырого жира по всем группам по всем опытным группам выше контрольных, за исключением группы 50 : 50 PS, что на 6,02 % ниже контроля. Данный факт можно объяснить наличием в пасечных вытопках и синтетических полимерах жирных кислот. В 3 опытной группе содержание сырого жира не удалось исследовать в силу методики и легкой массы изучаемого материала. Максимальное значение сырого жира в PS с соотношением 20 : 80, что на 19,57 % выше контрольных значений.

Содержание золы в 1 опытной группе в среднем на 0,96% выше контрольных значений, при этом максимальное значение в группе PS. Во 2 и 3 опытных группах максимальное значение с LDPE, что отражает высокое содержание минеральных веществ в данном полимере.

Иная картина наблюдается с биохимическим составом личинок *G. mellonella*, выращенных на естественной питательной среде с добавлением полимеров (табл. 4). Поскольку выживаемость личинок *G.mellonella* в 3 опытной группе составила 100%, биохимический анализ произведен не был и не отражен в таблице.

Таблица 4

**Биохимический состав личинок *G.mellonella*, выращенных на кормах, питательных средах с разным соотношением полимеров**

Группа	Гигроскопическая влажность			Сырой протеин			Сырой жир			Зола		
	%											
	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE	PP	PS	LDPE
к	54,00			34,25			27,78			4,37		
1	68,46	64,86	60,74	47,81	39,68	37,66	5,64	45,32	21,91	0,8	5,09	6,17
2	60,37	61,04	61,72	39,51	41,74	42,97	6,07	32,15	26,85	3,97	5,81	5,06

Гигроскопическая влажность личинок *G.mellonella* во всех опытных группах составила 64,6 %, что выше контрольных на 10,6 %, максимальное значение влажности в личинках, выращенных на PP в соотношении 20 : 80 – 68,46 %, минимальное на LDPE, равное 60,74 %. Во второй опытной группе значения варьируют от 60,37 % на PP, до 61,72 % на LDPE.

Все полученные значения по сырому протеину выше контрольных в среднем на 7,31 %. Максимальное значение сырого протеина в 1 опытной группе с PP, равное 47,81%, что в 1,4 раз больше контрольных показателей. Минимальное значение сырого протеина также в 1 опытной с содержанием LDPE – 37,66 %, что на 3,41% выше контрольных значений. В опытной группе с соотношением ингредиентов 50 : 50 максимальное значение с LDPE – 42,97 %.

Минимальное содержание сырого жира в личинках *G.mellonella* в группе с PP 20 : 80, 50 : 50 – 5,64 и 6,07 %, соответственно. По остальным группам значения в пределах контроля и выше: максимальные показатели в группе с содержанием PS 20 : 80, 50 : 50 – 45,32 и 32,51 %. Значения сырого жира в личинках, выращенных на питательной среде с добавлением LDPE, повышается с увеличением содержания полимера на 4,94 %.

Значения золы в личинках, выращенных на питательной среде с добавлением PS, LDPE в обеих группах выше контрольных значений, максимальное в группе 20 : 80 с LDPE, равное 6,17 %, что в 1,41 раза выше контроля. Минимальное значение золы в личинках, выращенных на питательной среде с добавлением PP, составляющее 0,8 %, что на 3,57 % ниже контроля.

Корреляционный анализ биохимических показателей корма и изучаемых морфометрических показателей личинок *G.mellonella* показал сильную взаимосвязь, равную 1.

В среднем масса личинок *G.mellonella* имеет сильную отрицательную корреляционную зависимость с биохимическими показателями питательных сред, за исключением показателя золы на питательной среде с LDPE, при этом показатель выживаемости личинок большой восковой моли, выращенных на питательных средах с добавлением PP, PS, имеет положительную взаимосвязь с биохимическими показателями питательных сред. Иная картина с питательной средой с LDPE, где взаимосвязь рассматриваемых показателей отрицательная, за исключением показателя золы. По взаимосвязи размера головной капсулы и биохимических показателей питательных сред имеется сильная положительная корреляция в опытной группе с добавлением PS и обратная в группах с добавлением PP, LDPE.

При анализе корреляционных связей морфофизиологических показателей личинок и их биохимических показателей заметна неоднородность полученных данных.

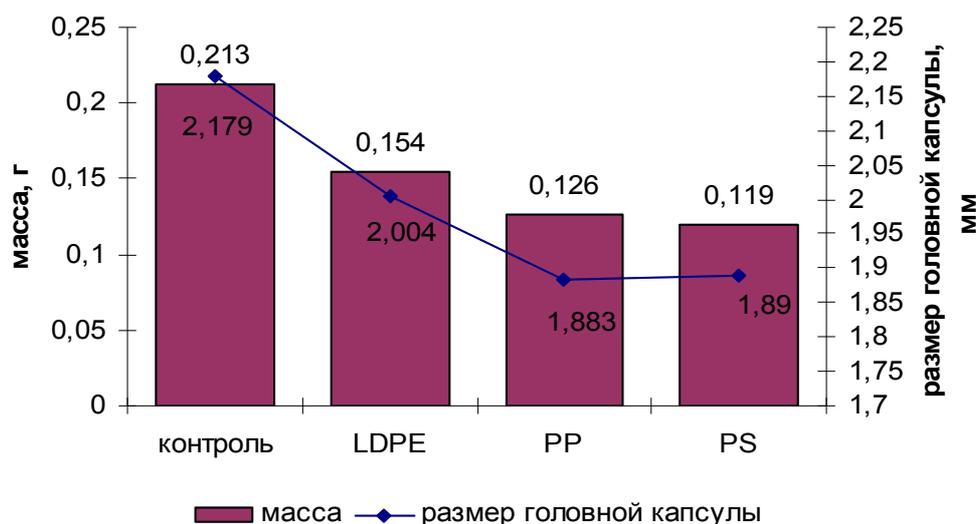


Рис. 2. Морфофизиологические показатели личинок, выращенных на питательных средах с добавлением синтетических полимеров

Масса личинок и головная капсула, выращенные на питательной среде с добавлением PP, имеют разную корреляционную зависимость с изучаемыми биохимическими показателями. Прямая зависимость массы личинок *G.mellonella* с их влажностью и сырым протеином, а обратная с сырым жиром и золой. Масса в опытных группах с полистиролом и добавлением мервы корреляционная зави-

симось положительная с влажностью и сырым жиром, а с протеином и золой соответственно отрицательная. Показатели головной капсулы и массы, выращенные на мерве с добавлением полиэтилена низкой плотности высокого давления, имеют обратную корреляционную связь, исключением является взаимосвязь массы и головной капсулы личинок и показателя золы, где наблюдается прямая корреляционная связь. Идентичными являются значения PS по выживаемости и головной капсулы, их корреляционная зависимость таких показателей, как влажность и сырой жир имеет отрицательную взаимосвязь, а сырой протеин и зола положительную. Выживаемость личинок *G.mellonella*, выращенных на PP и LDPE, имеет одинаковую обратную корреляционную зависимость с показателями влажности и сырого протеина, прямая – с золой. Отличие составляет во взаимосвязи выживаемости личинок и содержанием в них сырого жира: положительная взаимосвязь в опытной группе LDPE, а отрицательная в опытной группе PP.

Сравнительный анализ морфофизиологических показателей личинок *G.mellonella*, выращенных на питательных средах с изучаемыми полимерами, показал, что к контрольным значениям с разными соотношениями достоверно приближается опытная группа с LDPE, при  $P \leq 0,05$  (рис. 2).

Таким образом, отмечена сильная как положительная, так и отрицательная корреляционная зависимость изучаемых биохимических показателей питательных сред и личинок, выращиваемых на них. Кроме того, морфофизиологические показатели личинок по многим параметрам остаются на уровне контроля, не затормаживая нормальные процессы жизнедеятельности, что говорит о нейтральном влиянии пластика при всех изучаемых соотношениях и адаптации личинок большой восковой моли к перевариванию изучаемых синтетических полимеров. Дальнейшие исследования следует продолжить в ракурсе изучения ферментного состава кишечника ЖКТ с перспективой использования в перерабатывающей промышленности пластиковых отходов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хизбуллин Ф.Ф., Сатаров А.Р., Хакимов Р.Т. К вопросу организации переработки твердых бытовых отходов в Российской Федерации // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2014. № 3 (29). С.82-87.
2. Переработка пластика в России и Европе // ИРЕС. СПб., 2016. URL: <http://i-pec.ru/info/pererabotka-piriliz-plastika-i-plastikovux-otxodov> (дата обращения 8.10.2018)
3. Шугалей И.В., Целинский И.В., Возняковский А.П., Гарабаджиу А.В. Проблемы утилизации отходов полимеров в России // Экологическая химия. Т. 2. № 4. 2011. С. 218-230.
4. Заика К.А., Вагапова М.Н., Гаглоева А.Е. Экологические методы – эффективные методы переработки пластмасс на примере России и других развитых стран / Наука и молодежь в XXI веке. Матер. III Всерос. студ. науч.-техн. конф. Омск: Омскбланкиздат, 2017. С. 73-75.
5. Perez J.M., Vilas J.L., Laza J.M., Annaiz S., Mijaigos F. J. Polym. Environ. 2010. Vol. 12, № 1. P. 71-78.
6. Агзамов Р.З., Руссков Д.В., Минь Т.Т. О биологической деградации полимерных композиций на основе полиэтилена // Вестн. Казан. технолог. ун-та. 2012. № 18. С. 155-158.
7. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учеб. пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2010. 100 с.
8. Сакаева Э.Х., Мехоношина А.В. Исследование биодеструкции отходов полимерных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2017. № 1. С. 97-105.
9. Гущин А.В., Колбина Л.М., Осокина А.С. Приспособление для содержания и разведения большой восковой моли (*Galleria mellonella* L.) // Биомика. 2016. Т. 8. № 2. С. 84-87.
10. Bombelli P., Howe C. J., Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella* // Current Biology. 2017. Vol. 27, Iss. 8. P. 292-293.
11. Коновалова Т.В. Современные средства и методы обеспечения ветеринарного благополучия по инфекционной и протозойной патологии животных, рыб и пчел: метод. рекоменд. по лабораторному содержанию и разведению большой восковой огневки *Galleria mellonella* L. М., 2011. С. 156-178.
12. Мамаев Б.М., Медведев Л.Н., Правдин Ф.Н. Определитель насекомых Европейской части СССР. Т. IV. Чешуекрылые. Третья часть. М.: Просвещение, 1976. 304 с.
13. Загуляев А.К. Моли и огневки – вредители зерна и продовольственных запасов. М.-Л.: «Наука», 1965. 268 с.
14. Dyar H.G. The number of moults of lepidopterous larvae // Psyche. 1890. № 5. P. 420-422.
15. ГОСТ 13496.15-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира. Взамен ГОСТ 13496.15-85. введ. 1999-01-01. М.: ГостСтандарт Информ, 2011. 12 с.
16. ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Взамен ГОСТ 13496.4-84. введ. 1993-10-21. М.: ГостСтандарт Информ, 2011. 18 с.

17. ГОСТ 27548-97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. Взамен ГОСТ 27548-87. введ.: 1997-10-21. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации., 2011. 8 с.
18. ГОСТ 26226-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. Взамен ГОСТ 26226-84. введ.: 1995-10-12. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1996. 8 с.
19. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.
20. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.

Поступила в редакцию 19.09.2018

Осокина Анастасия Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
Удмуртский НИИСХ – структурное подразделение ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН  
426008, Россия, Удмуртская Республика, Завьяловский район, пос. Первомайский, ул. Ленина, 1  
E-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

Бодалева Александра Петровна, бакалавр направления «Экология и природопользование»  
E-mail: bodaleva1996@mail.ru

Платунова Гузель Рашидовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры  
экологии и природопользования  
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)

**A.S. Osokina, A.P. Bodaleva, G.R. Platonova**

**THE PROSPECT OF BIODEGRADATION OF WASTE FROM POLYMER MATERIALS USING LARVAE OF GALLERIA MELLONELLA L.**

Physiological and biochemical processes of *Galleria mellonella* larvae were investigated to further determine the enzyme composition of the gastrointestinal tract of the studied insect with the prospect of using the research in the disposal of polymeric materials waste. During the work, the biochemical analysis of feed with different ratio of synthetic polymers – PP, PS, LDPE (20:80, 50:50, 100%) and natural nutrient medium was carried out, as well as the larvae grown on them. Correlation analysis of the studied parameters revealed a strong positive and negative relationship of biochemical parameters of nutrient media and larvae equal to 1. Statistically significant morphological and physiological indicators of larvae in many respects remain at the control level ( $P \leq 0.05$ ) and not slowing down the normal processes of life that tells of neutral impact of plastic in all studied ratios and adaptation of the larvae of *G. mellonella* to digest synthetic polymers. Further research should be continued in the perspective of studying the enzyme composition of the intestine of the gastrointestinal tract with the prospect of using plastic waste in the processing industry.

**Keywords:** large wax moth larva, *Galleria mellonella*, synthetic polymers, biochemical composition, morphophysiological parameters, processing.

REFERENCES

1. Hizbullin F.F., Satarov A.R., Hakimov R.T. [On the organization of solid waste processing in the Russian Federation] in *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2014, no. 3 (29), pp. 82-87 (in Russ.).
2. [Plastic processing in Russia and Europe] in *IPEC* [Electronic resource], SPb., 2016. Available: <http://ipec.ru/info/pererabotka-piroliz-plastika-i-plastikovyx-otxodov> (accessed 8.10.2018 G.) (in Russ.).
3. Shugalej I.V., Celinskij I.V., Voznjakovskij A.P., Garabadzhiu A.V. [The problem of disposing waste plastics in Russia] in *Ekologicheskaja himija*, vol. 2 no. 4, 2011, pp. 218-230 (in Russ.).
4. Zaika K.A., Vagapova M.N., Gagloeva A.E. [Ecological methods effective methods of plastics processing on the example of Russia and other developed countries] in *Nauka i molodezh v XXI veke. Mater. III Vseros. stud. nauch.-teh. konf.* Omsk: Omskblankizdat, 2017, pp. 73-75 (in Russ.).
5. Perez J.M., Vilas J.L., Laza J.M., Annaiz S., Mijaigos F. J. *Polym. Environ*, 2010, vol. 12, no. 1, pp. 71-78.
6. Agzamov R.Z., Russkov D.V., Minj T.T. [On biological degradation of polymer compositions based on polyethylene] in *Vestnik Kazan. tehnolog. un-ta*, 2012, no. 18, pp. 155-158 (in Russ.).
7. *Utilizacija i vtorichnaja pererabotka tary i upakovki iz polimernyh materialov: ucheb. posobie* [Recycling and recycling of containers and packaging of polymeric materials: studies. benefit], A.S. Klinkov, P.S. Beljaev, V.K. Skuratov, M.V. Sokolov, V. G. Odnol'ko. Tambov: Izd-vo Tambov. gos. tehn. un-ta, 2010. 100 p. (in Russ.).

8. Sakaeva E.H., Mehonoshina A.V. [Study of biodegradation of waste plastics] in *Transport. Transportnye sooruzhenija. Ekologija*, 2017, no. 1, pp. 97-105 (in Russ.).
9. Guschin A.V., Kolbina L.M., Osokina A.S. [Device for the maintenance and breeding of large wax moth (*Galleria mellonella* L.)] in *Biomika*, 2016, vol. 8, no. 2, pp. 84-87 (in Russ.).
10. Bombelli P., Howe C.J., Bertocchini F., in Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*, in *Current Biology*, 2017, vol. 27, iss. 8, pp. 292–293.
11. Konovalova T.V. *Sovremennye sredstva i metody obespechenija veterinarnogo blagopoluchija po infekcionnoj i protoznoj patologii zhivotnyh, ryb i pchel: metod. rekomend. po laboratornomu sodержaniju i razvedeniju bol'shoj voskovej ognivki Galleria mellonella L.* [Modern means and methods of ensuring veterinary well-being on infectious and protozoal pathology of animals, fish and bees: method. recommended. laboratory maintenance and breeding of large wax moth *Galleria mellonella* L.], M., 2011, pp. 156-178 (in Russ.).
12. Mamaev B.M., Medvedev L.N., Pravdin F.N. *Opredelitelj nasekomyh Evropejskoj chasti SSSR. T. IV. Cheshuekrylye. Tret'ja chastj* [The determinant of insects of the European part of the USSR. Vol. IV. Lepidoptera. Third part.], M.: Prosveschenie, 1976, 304 p. (in Russ.).
13. Zaguljaev A.K. *Moli i ognivki vrediteli zerna i prodovol'stvennyh zapasov* [Moth and moth pests of grain and food stocks], Moskva-Leningrad: "Nauka", 1965, 268 p. (in Russ.).
14. Dyar H.G. The number of moults of lepidopterous larvae in *Psyche*, 1890, no. 5, pp. 420-422.
15. *GOST 13496.15-97. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredelenija sodержanija syrogo zhira. Vzamen GOST 13496.15-85. vved. 1999-01-01* [GOST 13496.15-97. Feed, feed, feed raw materials. Methods for determination of crude fat content. Instead GOST 13496.15-85. enter. 1999-01-01.], M.: GostStandart Inform, 2011, 12 p. (in Russ.).
16. *GOST 13496.4-93. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredelenija sodержanija azota i syrogo proteina. Vzamen GOST 13496.4-84. vved. 1993-10-21* [GOST 13496.4-93. Feed, feed, feed raw materials. Methods for determination of nitrogen and crude protein content. Instead GOST 13496.4-84. enter. 1993-10-21], M.: GostStandart Inform, 2011, 18 p. (in Russ.).
17. *GOST 27548-97. Korma rastitel'nye. Metody opredelenija sodержanija vlagi. Vzamen GOST 27548-87. vved.: 1997-10-21* [GOST 27548-97. Feed vegetable. Methods for determining the moisture content. Instead of GOST 27548-87. enter.: 1997-10-21], Minsk: Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i setrifikacii., 2011, 8 p. (in Russ.).
18. *GOST 26226-95. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredelenija syroj zoly. Vzamen GOST 26226-84. vved.: 1995-10-12* [GOST 26226-95. Feed, feed, feed raw materials. Methods for determination of crude ash. Instead of GOST 26226-84. enter.: 1995-10-12], Minsk: Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i setrifikacii., 1996, 8 p. (in Russ.).
19. Plohinskij N.A. *Rukovodstvo po biometrii dlja zootehnikov* [Guide to biometrics for livestock specialists], M.: Kolos, 1969, 256 p. (in Russ.).
20. Lakin G.F. *Biometrija* [Biometry], M.: Vysshaja shkola, 1990, 352 p. (in Russ.).

Received 19.09.2018

Osokina A.S., Candidate of Biology, Senior Researcher  
Udmurt Research Institute of Agricultural – Branch of the Udmurt Federal Research Center  
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
Lenina st. 1, Pervomayskii s., Zavalovskii district, Udmurt State, Russia, 426008  
E-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

Bodaleva A.P., bachelor of ecology and nature management»  
E-mail: bodaleva1996@mail.ru

Platunova G.R., Candidate of Biology, Associate Professor at Department of ecology and nature management  
E-mail: dyukina-guzel@yandex.ru  
Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034