

Биоконверсия полистирола насекомыми в лабораторных условиях

Бастраков А.И.¹, Толстунов М.И.², Костина Н.В.³, Ушакова Н.А.¹

¹ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва.

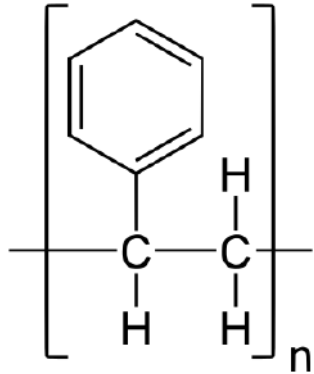
²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», Ростов-на-Дону

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

***Работа поддержана грантом РНФ 25-24-00273**



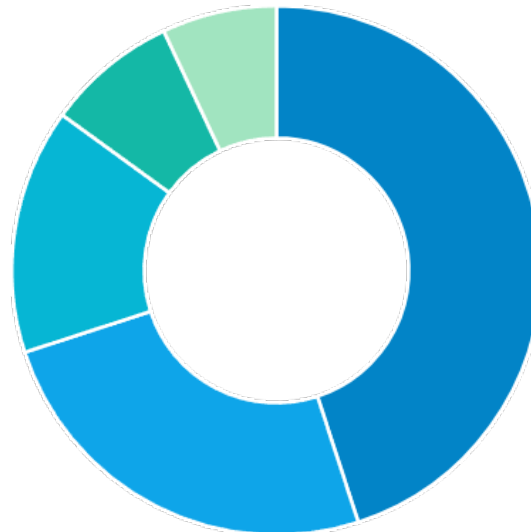
PS — полистирол



Полистирол

Пластик однократного применения. Негидролизуемый, обладает высокой устойчивостью к ферментативной и микробной деградации

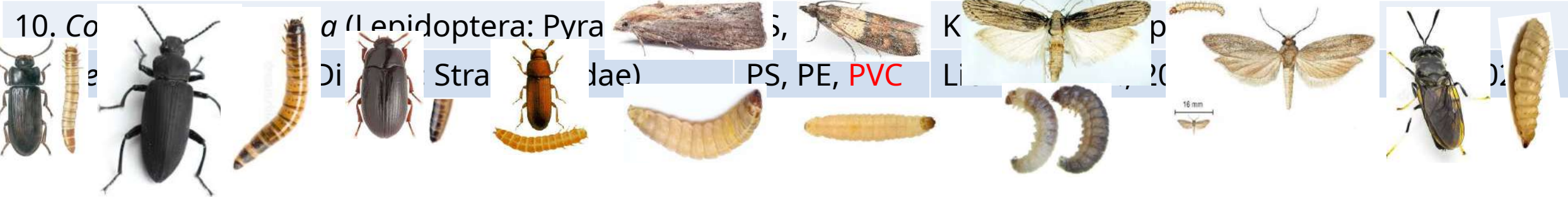
- Упаковка: 45%
- Строительство: 25%
- Электроника: 15%
- Автомобили: 8%
- Прочее: 7%



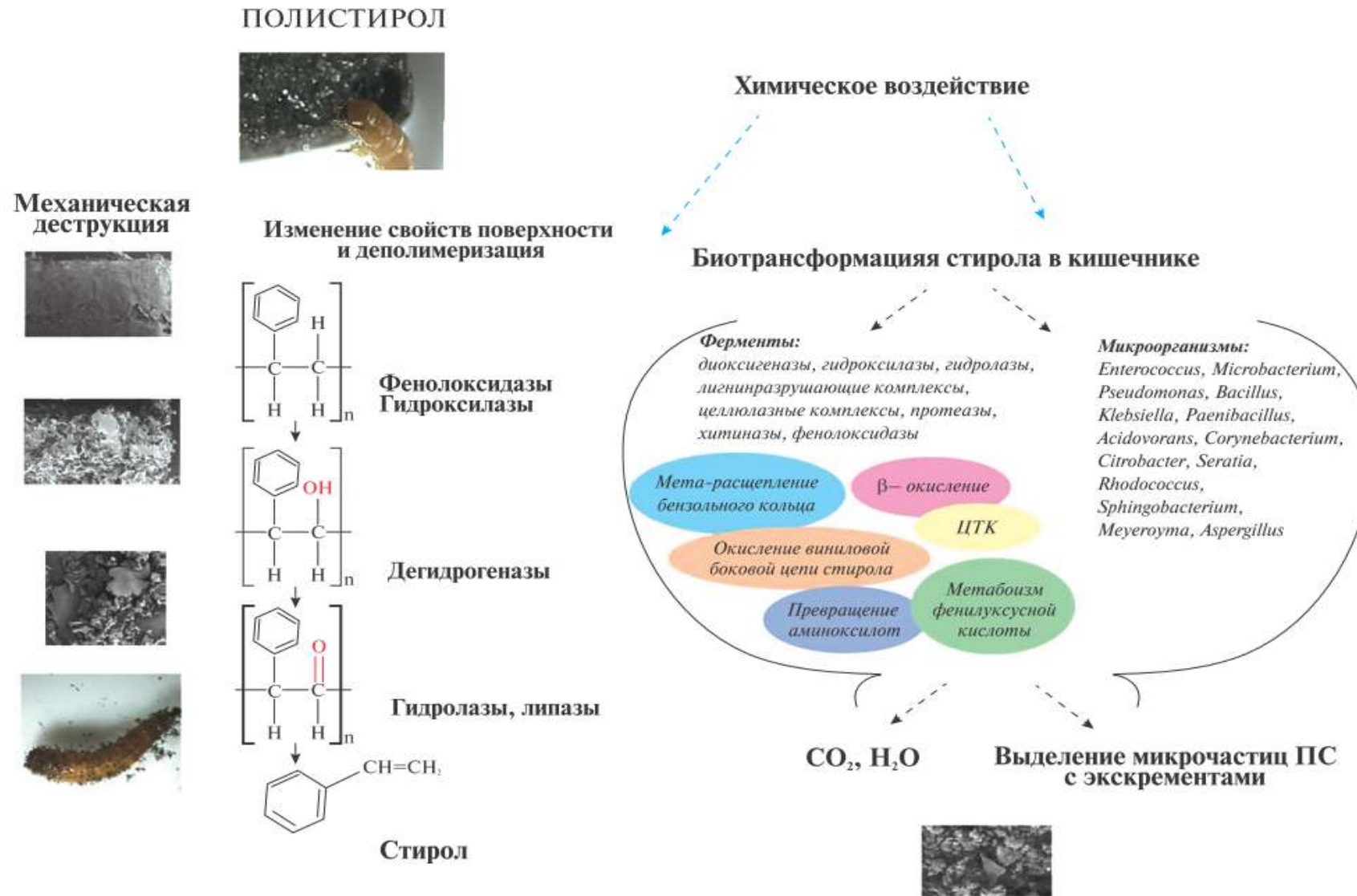
Суммарный объем переработки ПС

- Захоронение/Сжигание: 82%
- Механическая переработка: 10%
- Химическая переработка: 8%

Виды насекомых с подтвержденной способностью потреблять пластики	Типы Пластиков	Литература
1. <i>Tenebrio molitor</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PS, PE, PU,	Wang et al., 2022; Luo et al., 2021; Yang et al., 2021a,b; Brandon et al., 2018
2. <i>Tenebrio obscurus</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PE	Yang al., 2021; Peng et al., 2019
3. <i>Zophobas atratus</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PS, PE, PU, PVC	Luo et al., 2021; Wang et al., 2022; Peng et al., 2020; Wang et al., 2024
4. <i>Alphitobius diaperinus</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PS,	Cucini et al., 2020
5. <i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PS,	Wang et al., 2020
6. <i>Plesiophthalmus davidis</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	PS,	Woo et al., 2020
7. <i>Galleria melonella</i> (Lepidoptera: Pyralidae)	PS, PE, PVC	Zhang et al., 2020;
8. <i>Plodia interpunctella</i> (Lepidoptera: Pyralidae)	PS, PE	Lou et al., 2022; Mahmoud et al.
9. <i>Achroia grisella</i> (Lepidoptera: Pyralidae)	PS,	Kundunqal et al., 2019a

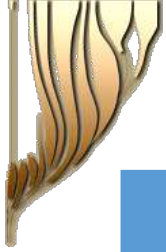


Механизмы разрушения пластика насекомыми

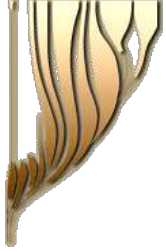


Ren L., Men L., Zhang Z. Biodegradation of Polyethylene by *Enterobacter* sp. D1 from the Guts of Wax Moth *Galleria mellonella*. *Int J Environ Res Public Health*, 2019. 16, P. 1941–51. <https://doi.org/10.3390/ijerph16111941>

Sun J., Prabhu A., Aroney S. T., Rinke C. Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials // *Microb Genom*. 2022. V. 8. № 6. P. 000842–60. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000842>



Вид насекомых	Микробиологическая культура	Ссылка
<i>Zophobas atratus</i>	<i>Citrobacter koseri</i> <i>C. freundii</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Nyamjav et al., 2023; Urbanek et al., 2024; Kim et al., 2015
	<i>Aspergillus flavus</i>	
<i>Tribolium castaneum</i>	<i>Acinetobacter bacterium</i>	Wang et al., 2020
<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Exiguobacterium</i> sp. <i>Klebsiella</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Serratia</i>	Yang et al., 2015b Urbanek et al., 2024
<i>Galleria melonella</i>	<i>Enterobacter</i> sp.	Ren et al., 2019



Цель и задачи исследования

Цель работы: изучить процесс биоконверсии вспененного ПС в ходе лабораторных экспериментов модельными видами насекомых.

Задачи:

- Оценить убыль массы ПС, кормовых сред и выживаемость насекомых.
- Проверить способность насекомых использовать ВПС как единственный источник углерода.
- Оценить степень деструкции ПС разного размерного класса.

Объекты исследования



1. *Ulomoides dermestoides* (Coleoptera: Tenebrionidae)

- Dou Y., Jia H., Wang J., Nie B., Criddle C. S., Benbow M. E., ... & Duan, Z. (2025). A new Coleoptera member (*Ulomoides dermestoides*) to biodegrade plastics. *Environmental Science & Technology*, 59(44), 23739-23750.

2. *Nauphoeta cinerea* (Blattoptera: Blaberidae)



3. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

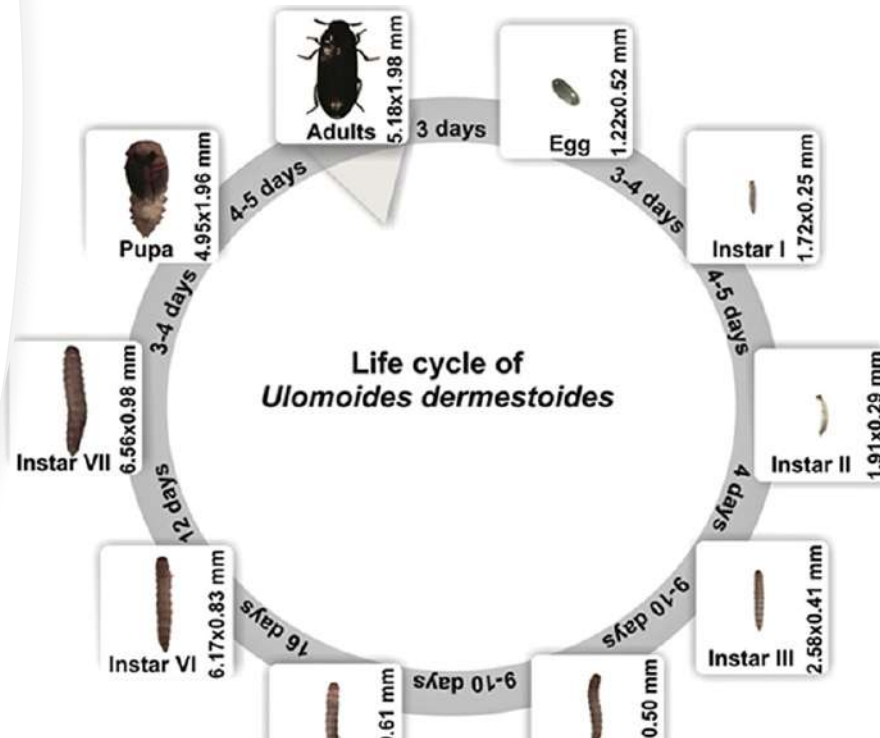


4. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)





Объект исследования:
Ulomoides dermestoides
(Coleoptera: Tenebrionidae)

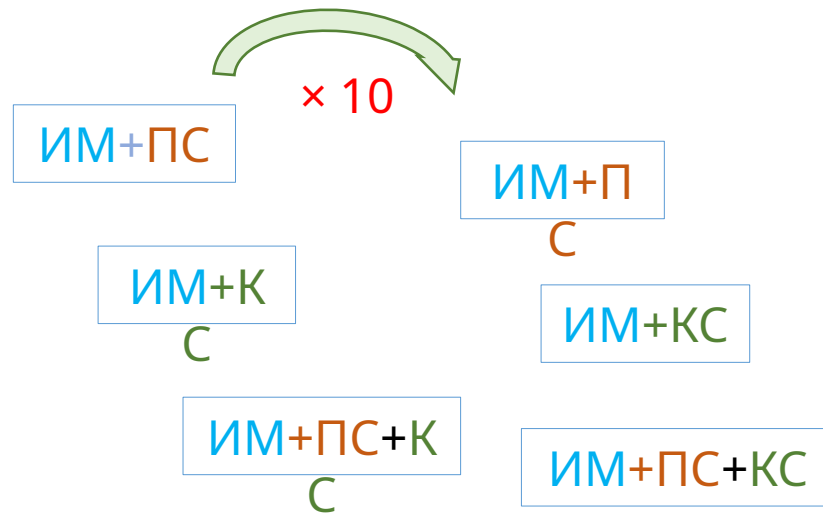


6-7
MM

Эксперимент 1: Деструкция ВПС с помощью имаго



5 гр

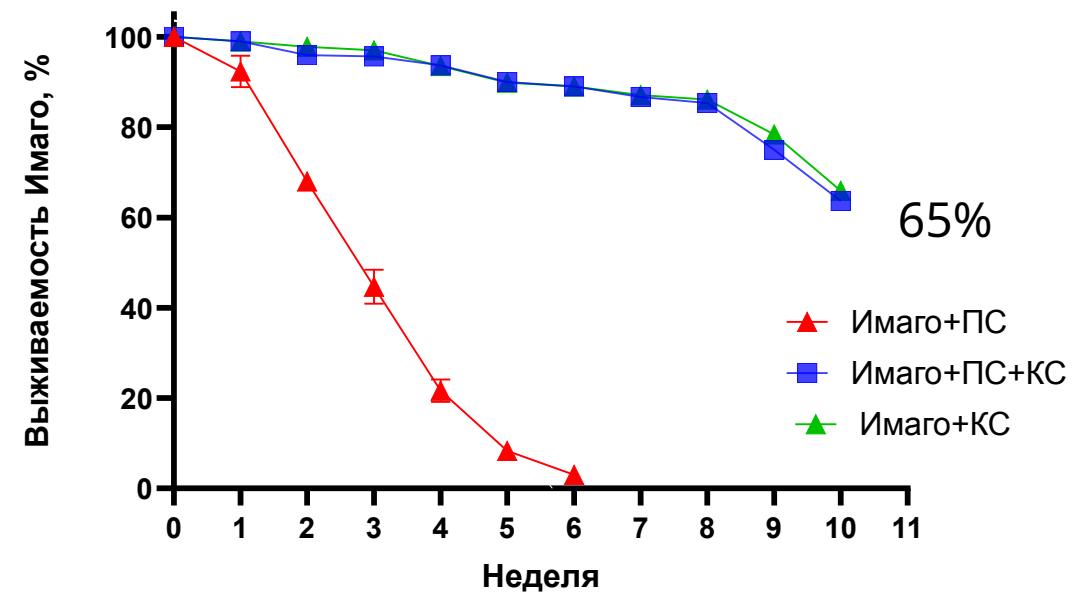
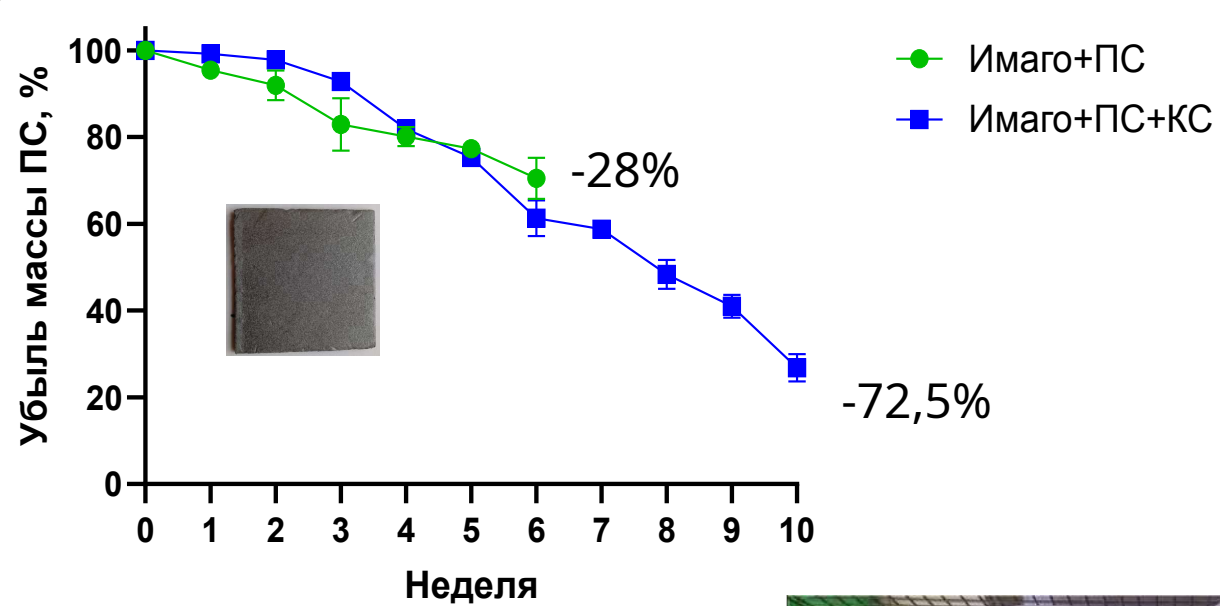


7 суток	28 суток
Пересадка жуков	Масса личинок
Масса ПС	Конверсия КС
Масса Имаго	Конверсия ПС

- 5 г имаго сажали в пластиковые контейнеры с кормовой средой на основе овсяных хлопьев.
- 3 опытных варианта: ПС+Имаго, КС+имаго, ПС+КС+имаго. Повторность 3-х кратная.
- Каждые 7 сут жуков из вариантов с КС пересаживали в контейнер со свежим кормом и ПС переносили вместе с жуками. Проводили взвешивания как жуков, так и ПС.
- Проведено 10 пересадок имаго.

ИМ – имаго, **ПС** – полистирол,
КС – Кормовая среда.

Эксперимент _ Имаго: Результаты

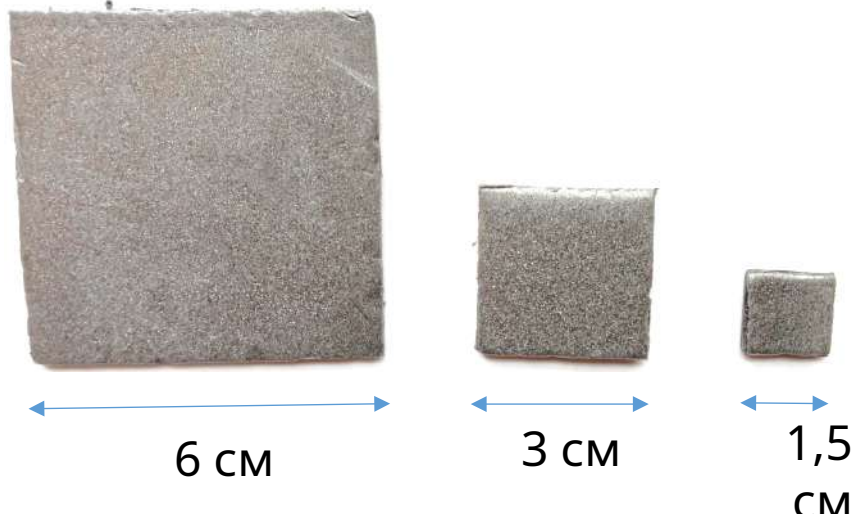


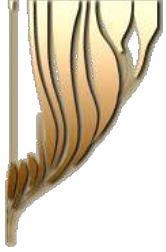
Эксперимент 2: Деструкция ВПС личинками *U. dermestoides*

- 5 г имаго держали на КС в течение 1 недели, где жуки спаривались и откладывали яйца.
- Отделяли от КС и в эксперименте больше не использовали.
- На КС с личинками помещали куски ПС разных размерных классов: куски ВПС со стороной 1,5, 3, 6 см. Общая площадь – 36см².
- Личинок выращивали в течение 4 недель.

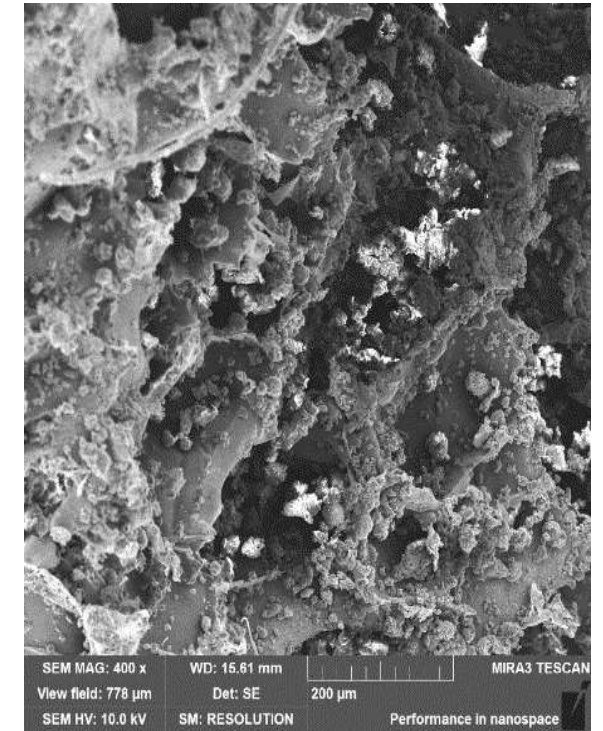
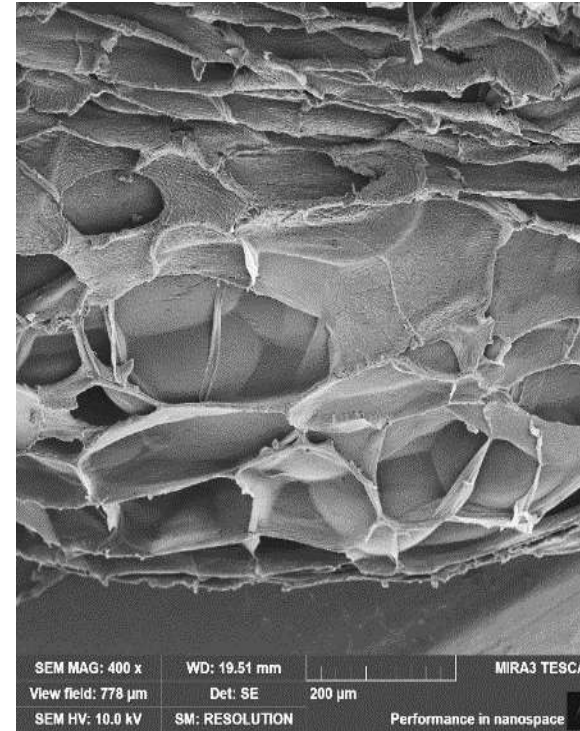
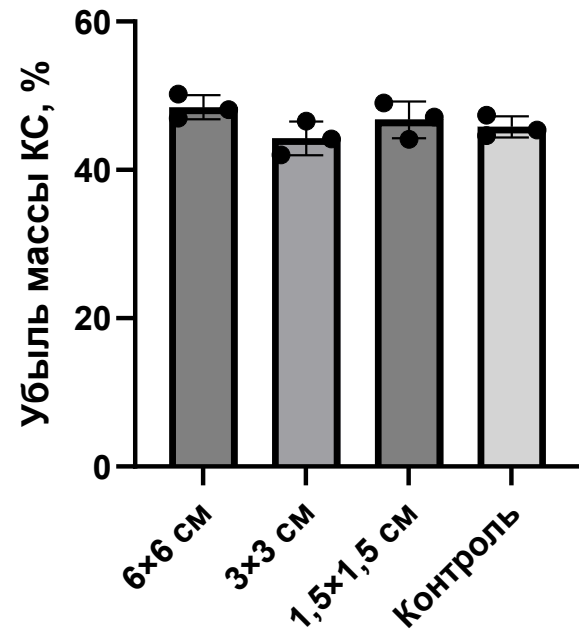
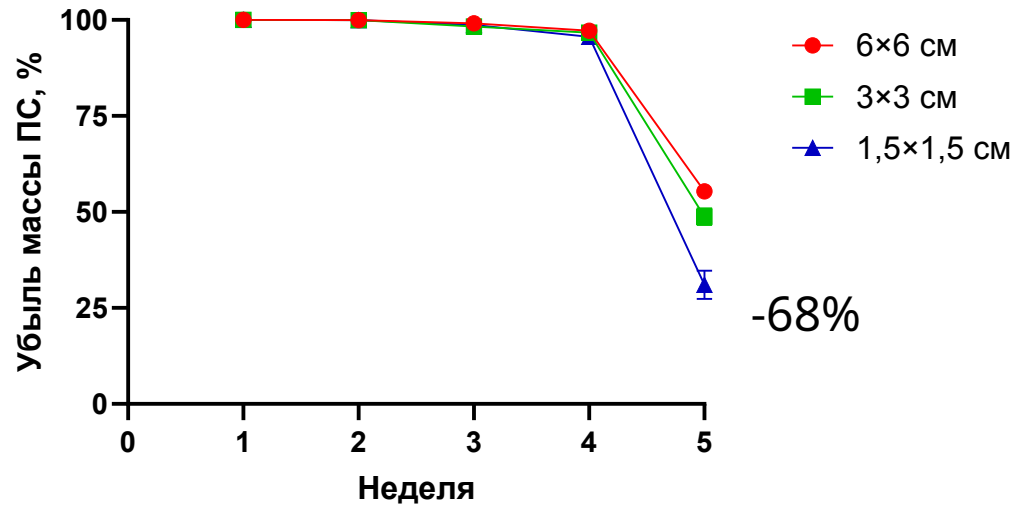
Определяли показатели:

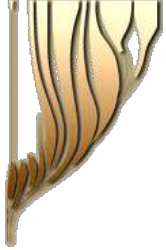
- Убыль массы ПС – каждые 7 суток.
- Конверсию субстрата – в конце опыта.





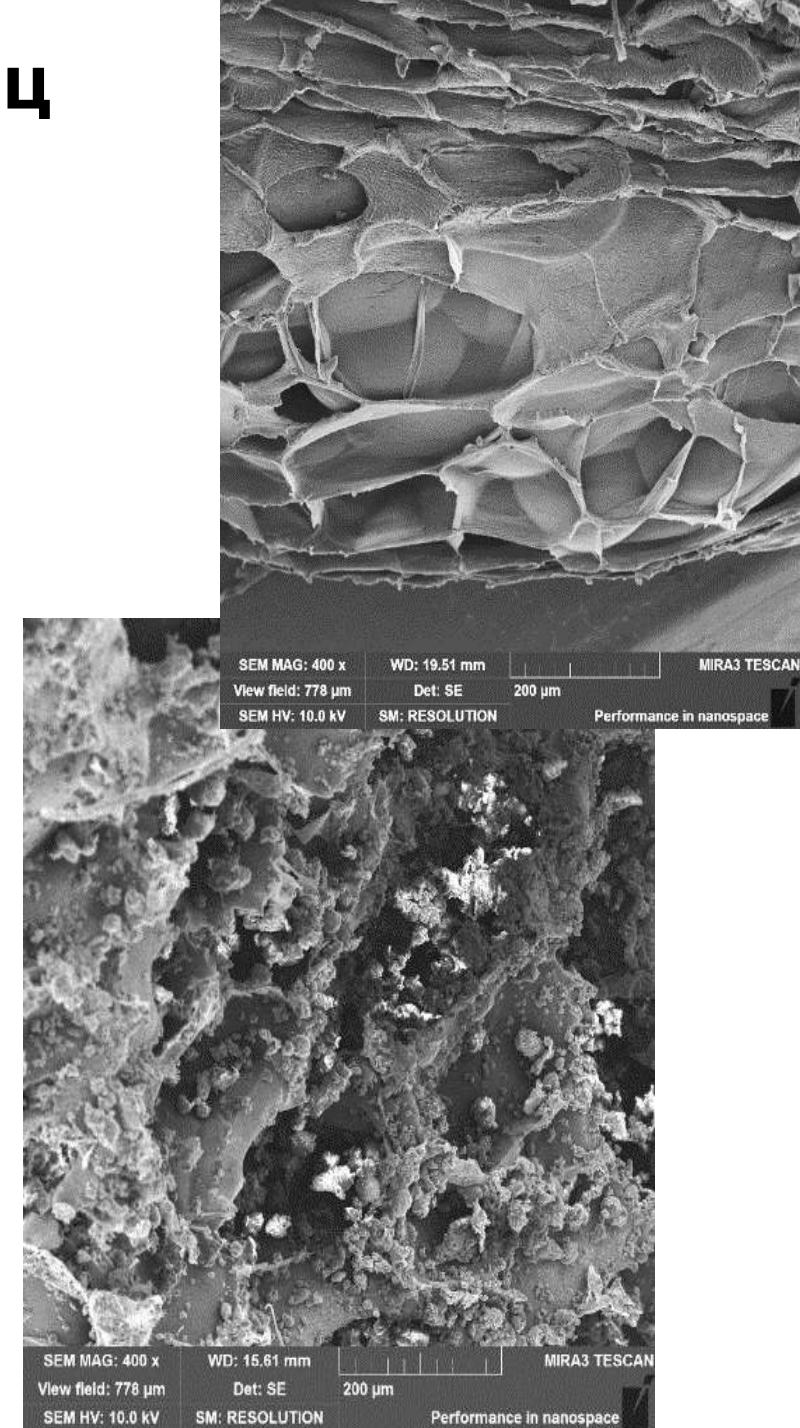
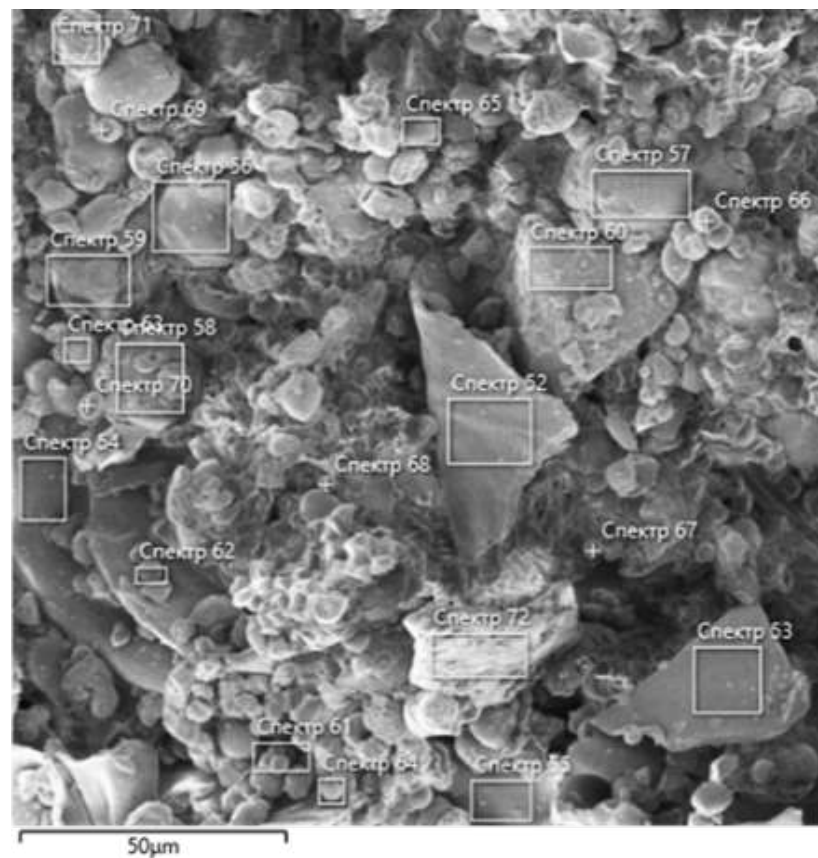
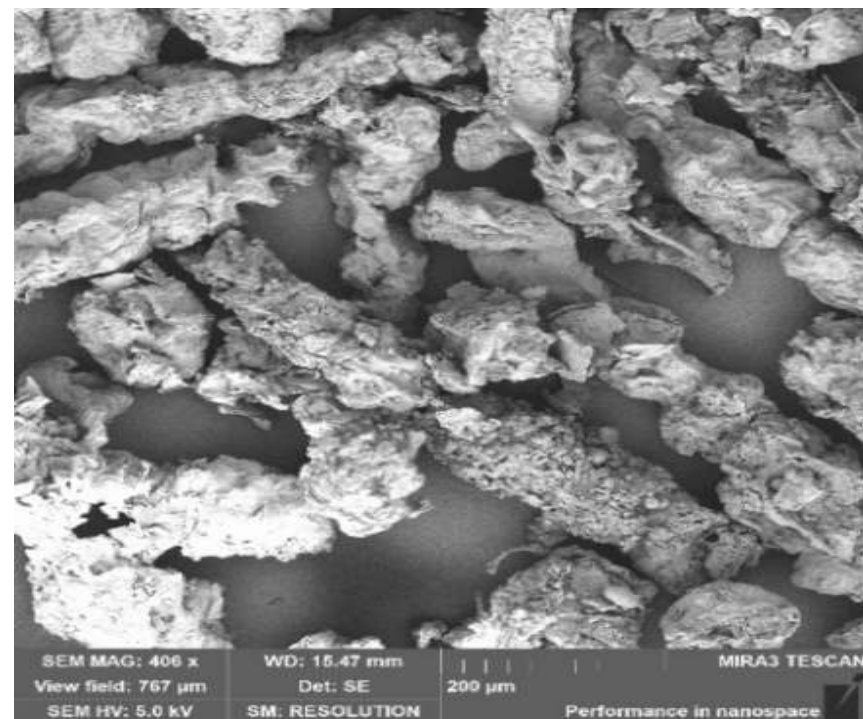
Результаты



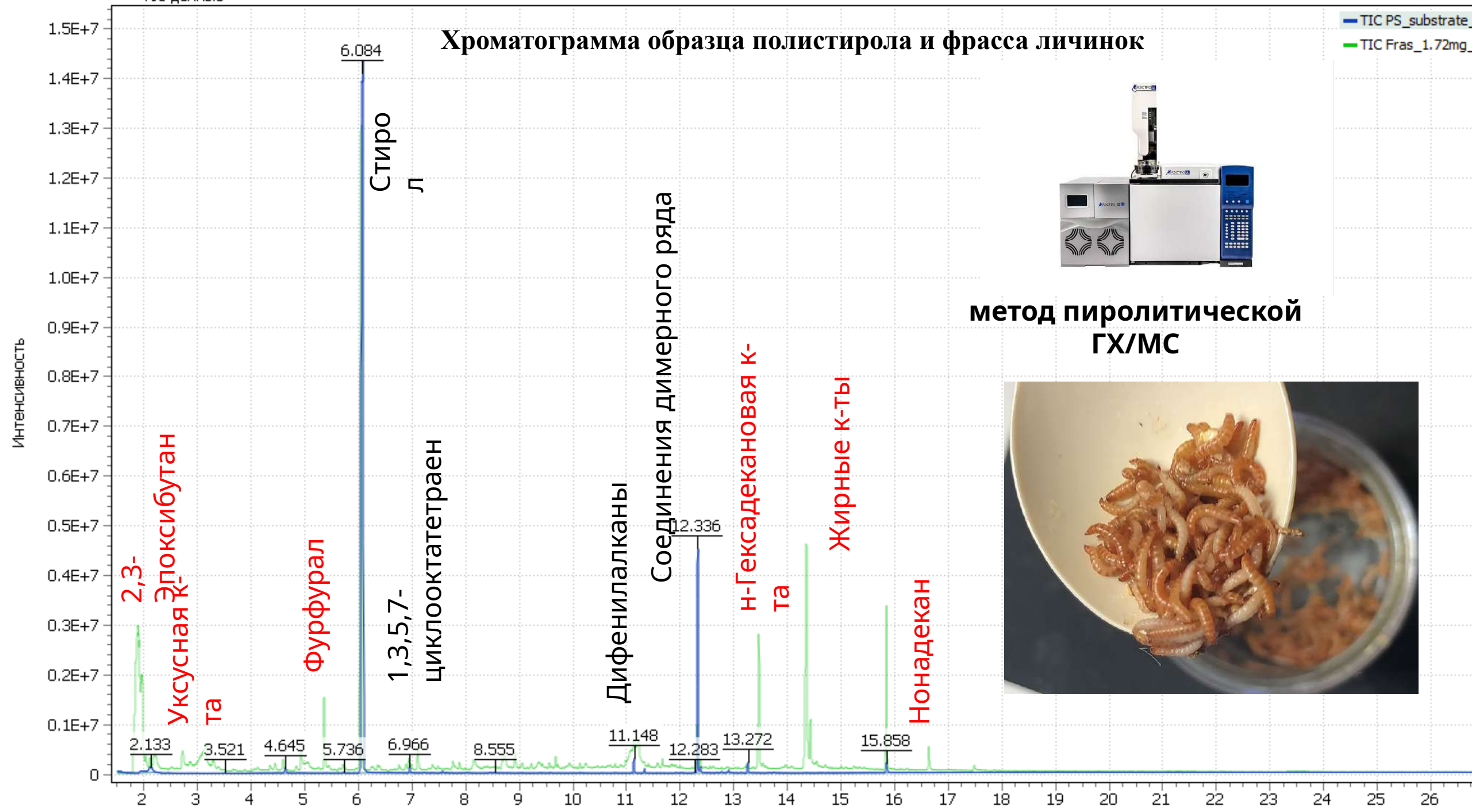


Элементный состав экскрементов-частиц полистирола

Варианты	C, %	O, %
Экскременты личинок	84.46±5.77	15.88±2.61
ПС	91.24±6.81	8.64±3.62



Хроматограмма образца полистирола и фасса личинок



Индивидуальное содержание личинок



метод пиролитической ГХ/МС



Схема опыта

- Отбирали 3-х недельных личинок.
- Рассаживали по пробиркам
Выдерживали в течение 2-х суток для очистки кишечника.
- Пересаживали в чистые эпиндорфы с кусочками ПС
- В течение 2-х суток личинки потребляли ПС.
- Извлекали личинок промывали от ПС и отбирали образцы для исследований: Фрагменты ПС, Личинка целиком, кишечник, тело без кишечника.
- Образцы высушивали и отправляли в лабораторию.

Индивидуальное содержание



метод пиролитической ГХ/МС

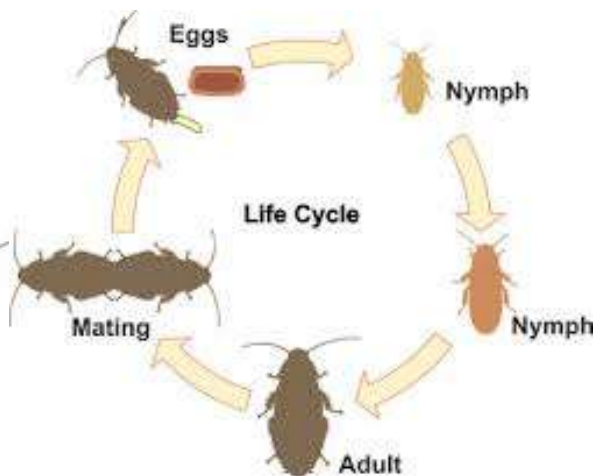


Схема опыта

- Отбирали 3-х недельных личинок.
- Рассаживали по пробиркам
- Выдерживали в течение 2-х суток



Объект исследования:
Nauphoeta cinerea (Blattoptera: Blaberidae)



6 cm



3 cm

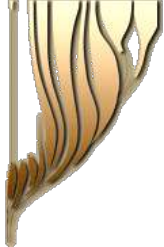


1,5
cm



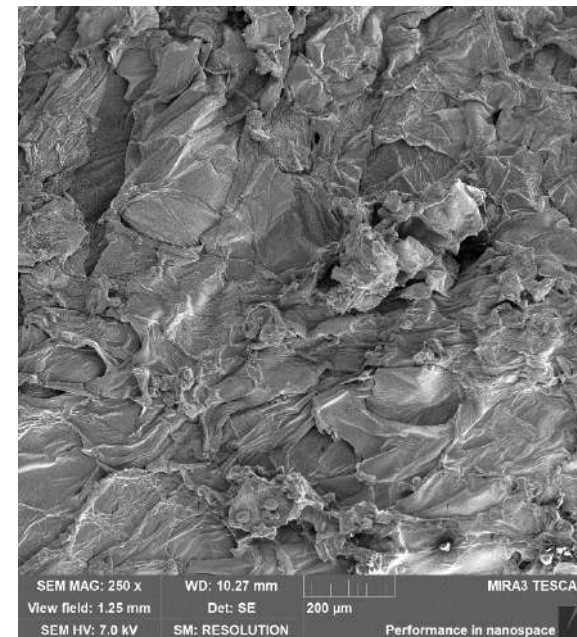
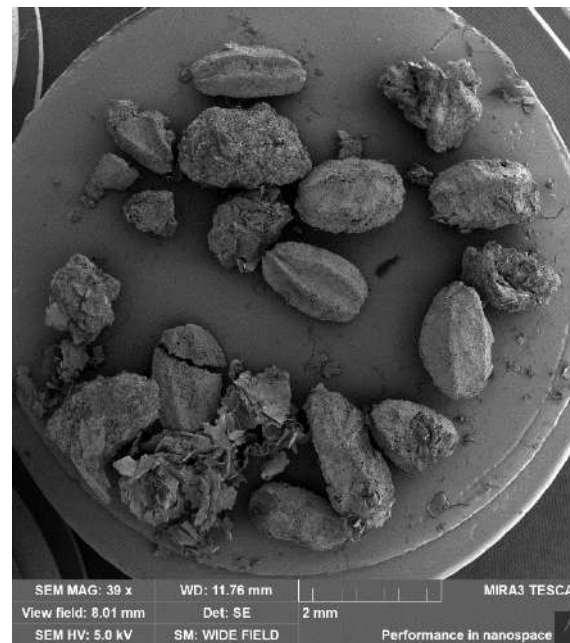
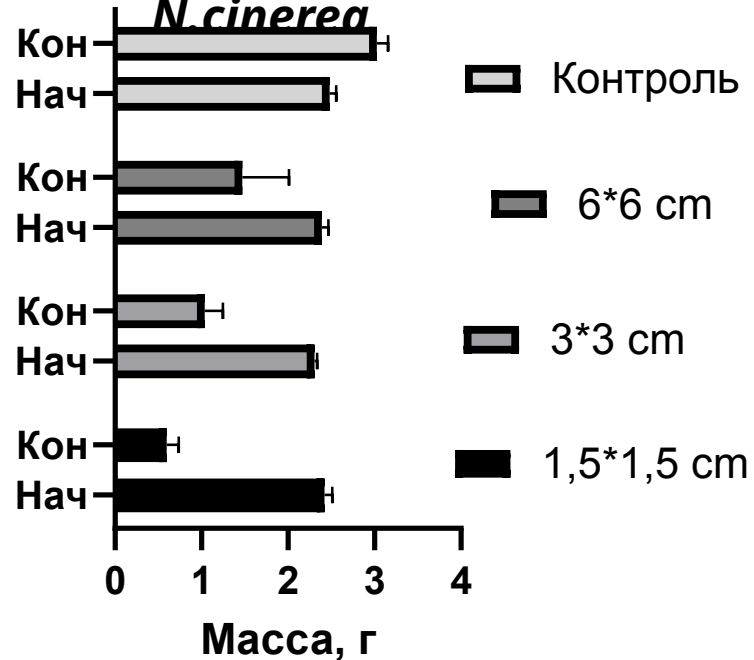
Фрасс тараканов *N. cinerea*



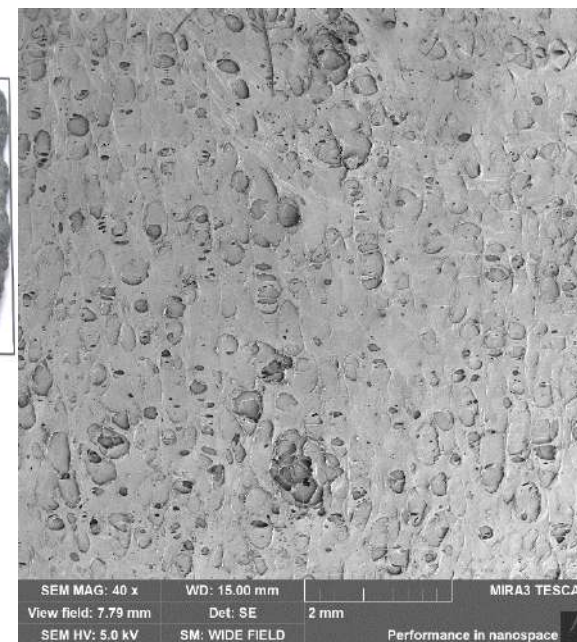
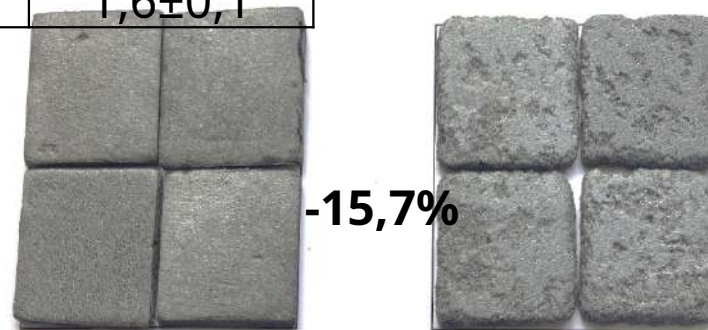
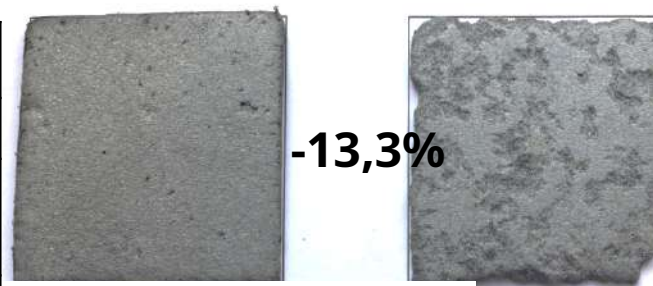


Динамика массы

N. cinerea



Варианты	C, %	O, %	N, %
ВПС_контроль	94,7±6,1	5,3±0,2	
ВПС_поврежденный	91,8±5,3	6,7±0,3	1,5±0,1
Фрасс	88,4±4,2	10,0±0,8	1,6±0,1



Объект исследования: *Hermetia Illucens* (Diptera: Stratiomyidae)



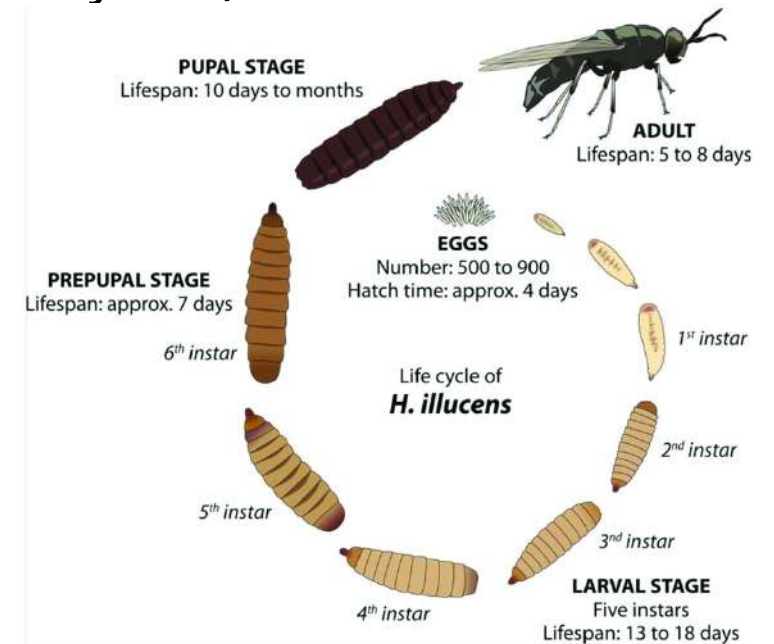
Биомасса личинок



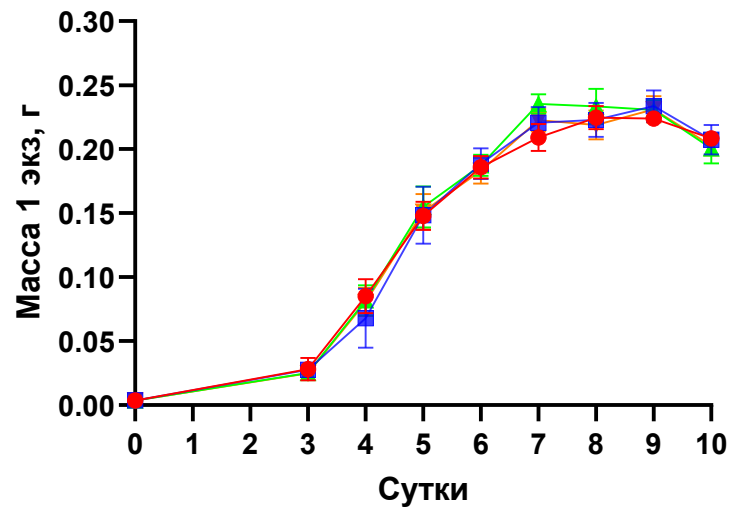
Начало эксперимента: 0
сутки



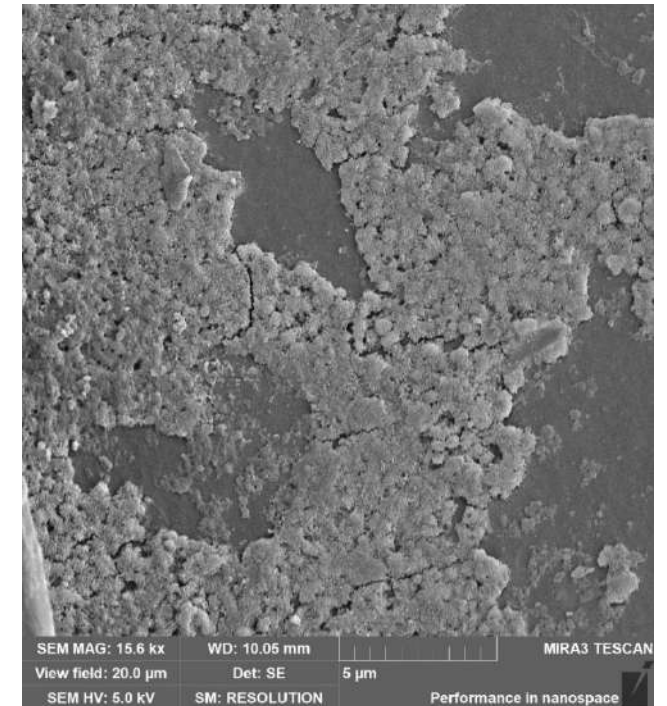
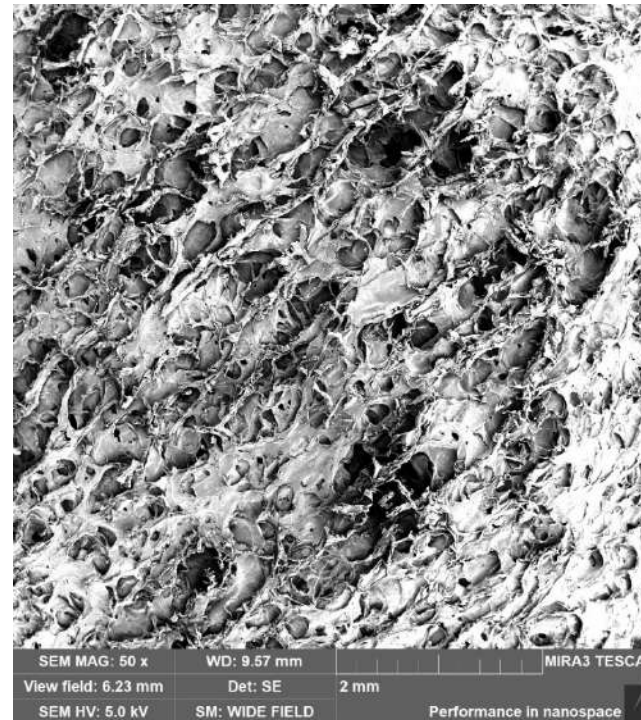
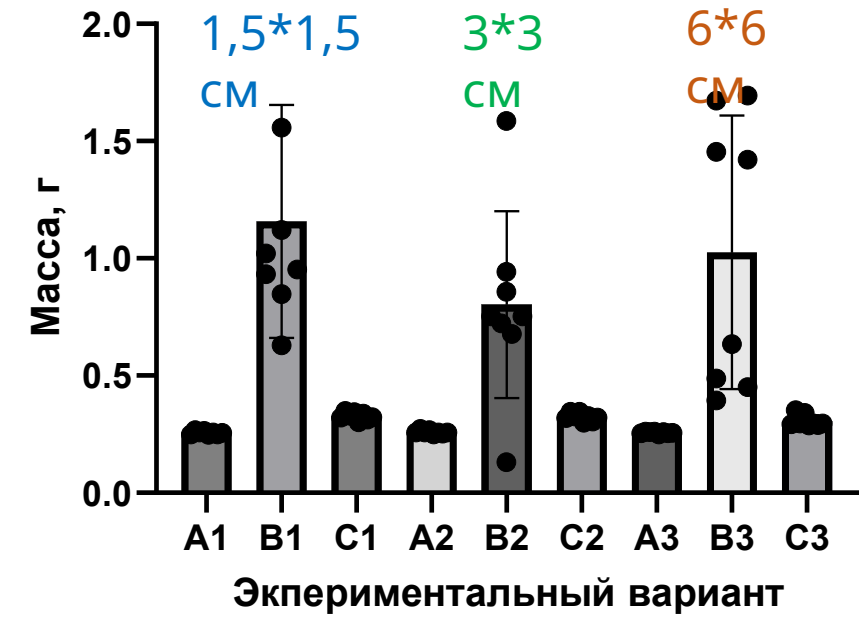
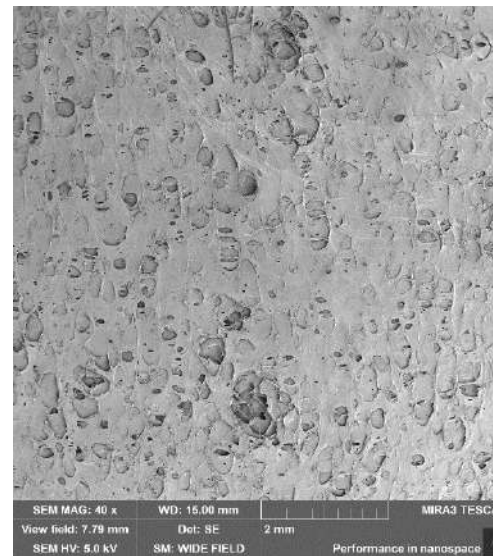
Спустя 10 суток

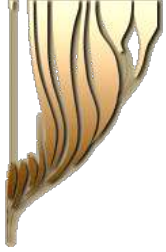


Фрасс



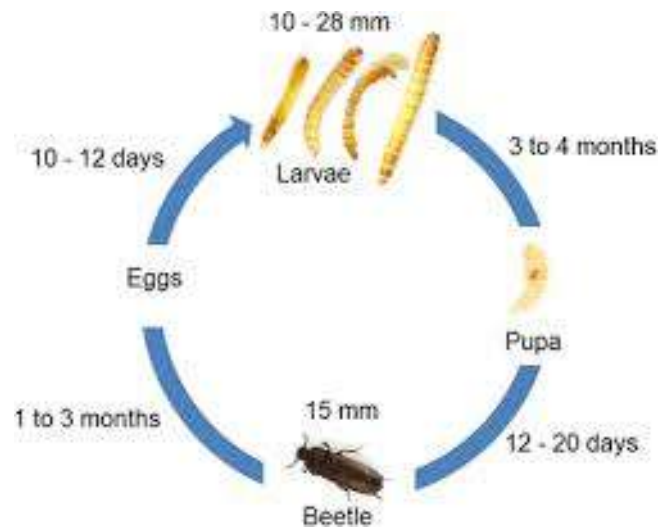
- Контроль
- PC_1,5*1,5 см
- ▲ PC_3*3 см
- ▼ PC_6*6 см



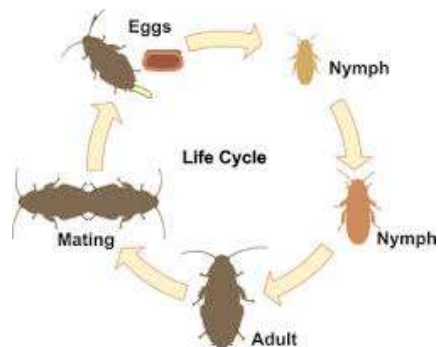


Стадия 2. Биоконверсия ВПС с помощью видов-

деструкторов
Объект исследования: *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)

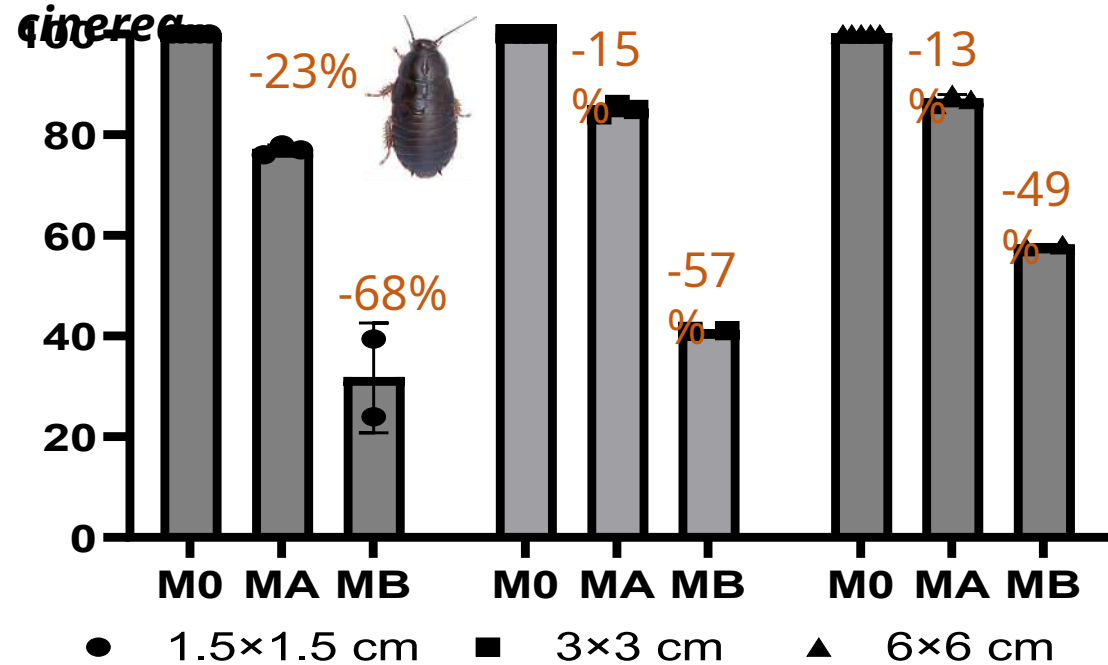


Объект исследования: *Nauphoeta cinerea* (Blattoptera: Blaberidae)



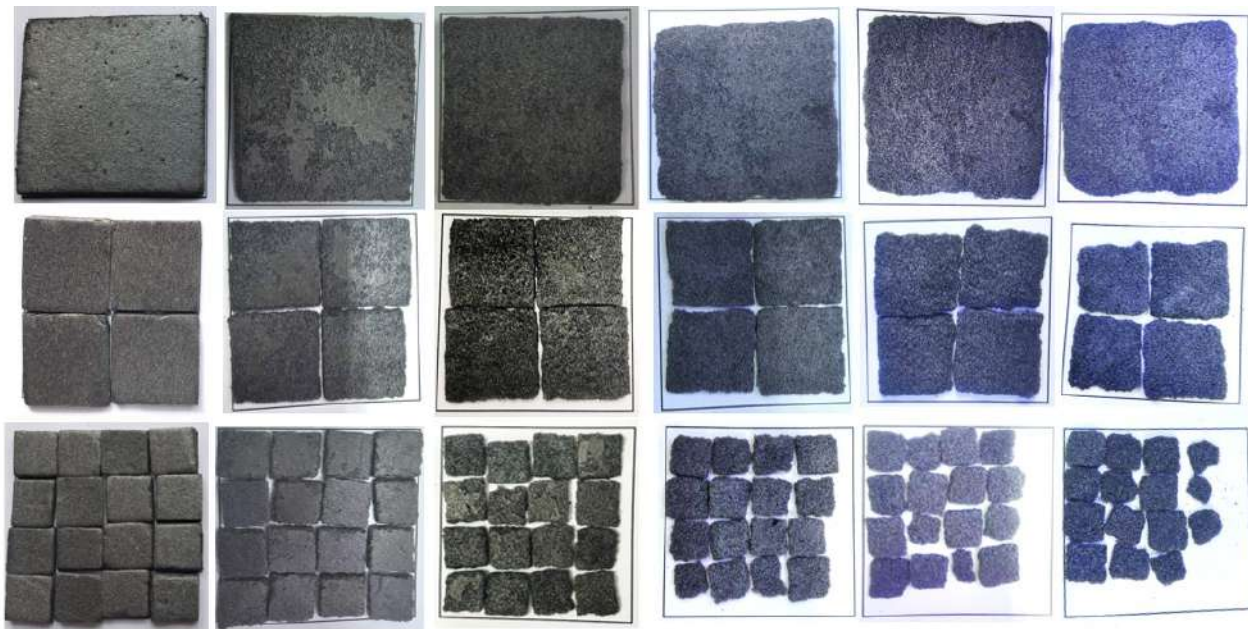
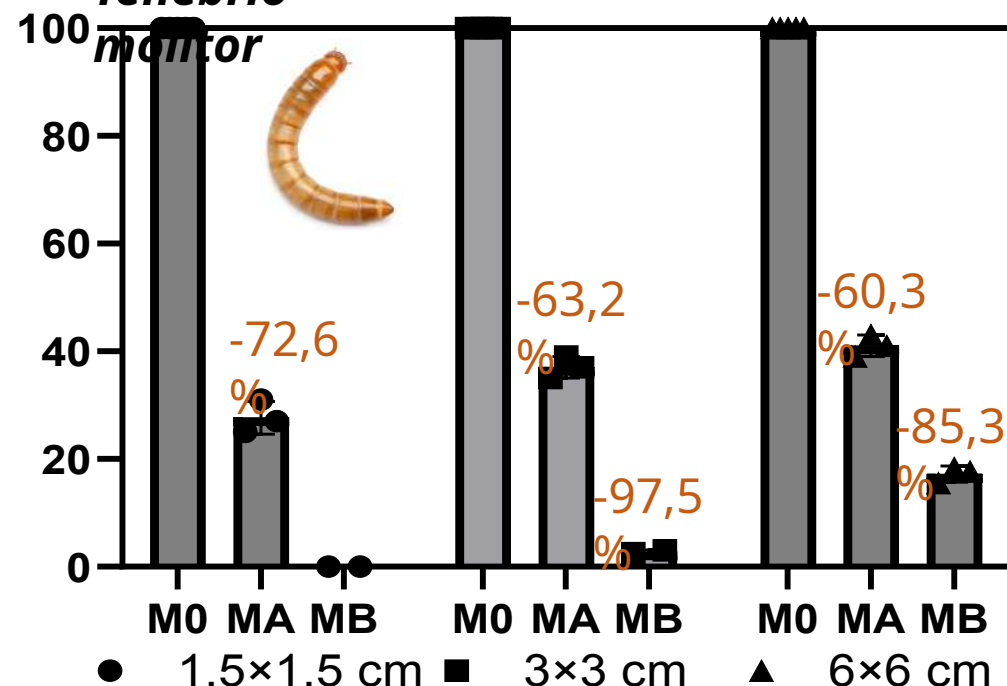
Nauphoeta cinerea

Убыль массы ПС, %

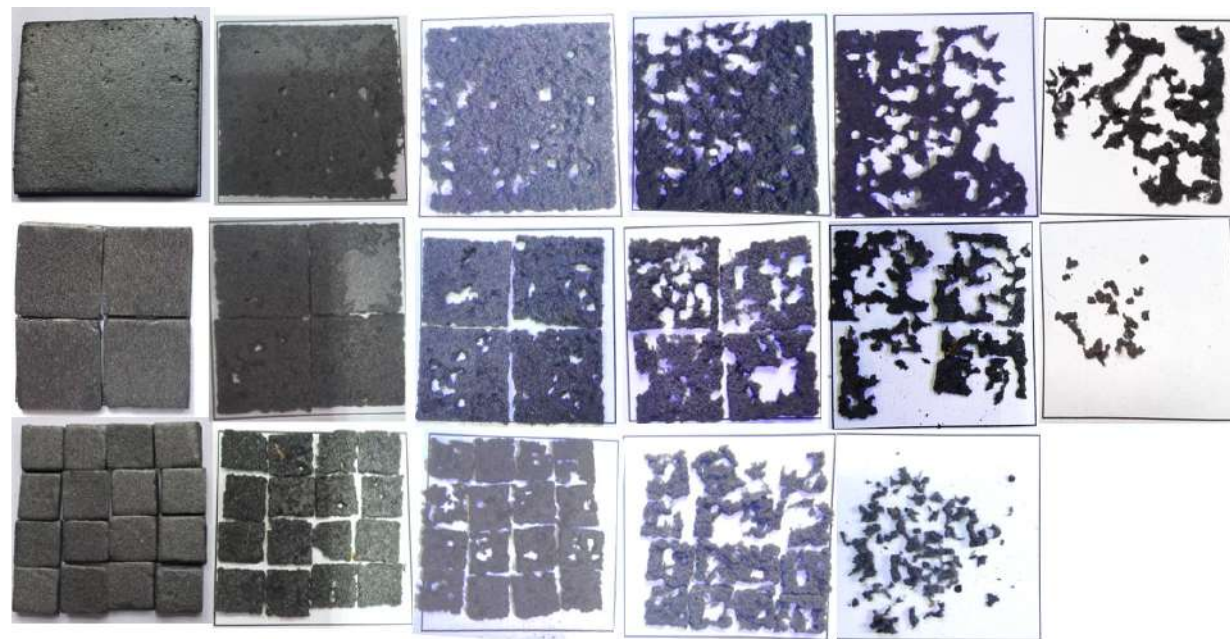


Tenebrio molitor

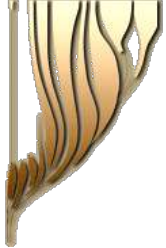
Убыль массы ПС, %



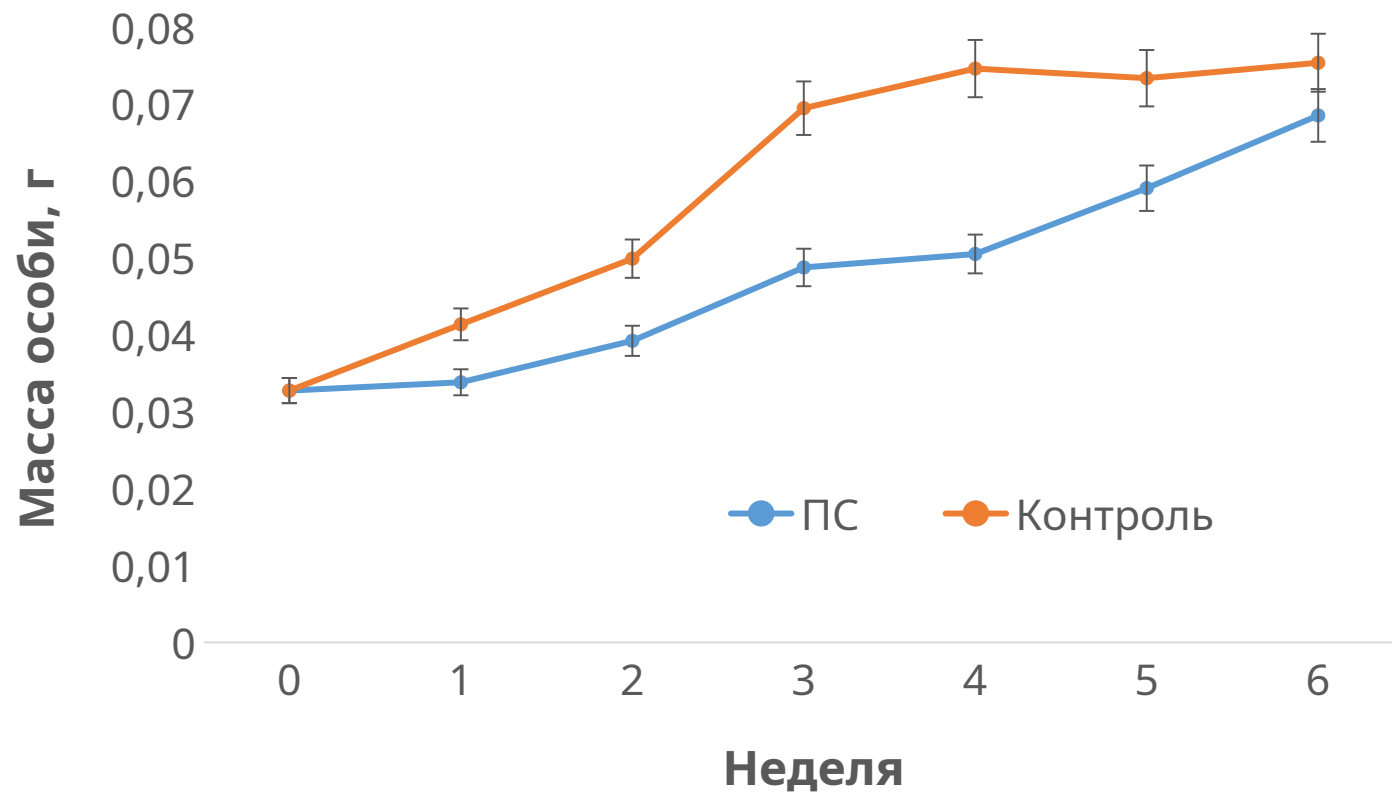
1 неделя 2 неделя 3 неделя 4 неделя 5 неделя 6 неделя

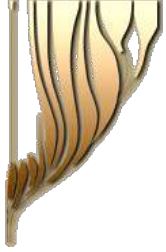


1 неделя 2 неделя 3 неделя 4 неделя 5 неделя 6 неделя



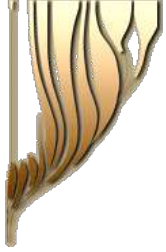
Динамика накопления массы личинок *Tenebrio molitor*





Выводы

- Модельные виды насекомых способны осуществлять деструкцию полистирола с разной степенью эффективности.
- В ходе лабораторных экспериментов ПС не оказывал токсического эффекта на выживаемость насекомых.
- В процессе прохождения ЖКТ насекомых происходило частичное окисление ПС и размерный переход частиц из разряда мезо-макропластика в микропластик.
- Большинство протестированных видов насекомых были не способны использовать ПС в качестве единственного источника пищи.
- Предобработка ПС в процессе стадии концентрации позволила существенно повысить эффективность его дальнейшей биоконверсии.



Благодарности. Спасибо за внимание!

Группе д.б.н. И.Б.Котовой с кафедры микробиологии МГУ им. М.В. Ломоносова за участие в эксперименте по биоконверсии ПС имаго *U. dermestoides*.

Коллегам кабинета электронной микроскопии ИПЭЭ РАН и Р.М. Хацаевой, за возможность сделать электронные фотографии.

*Работа поддержана грантом РФФ 25-24-00273