



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»  
Биологический факультет  
Кафедра Микологии и альгологии



Литературная курсовая работа:

# БИОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выполнил:  
Студент 3-го курса Ю  
Юрков В.Г.  
Научный руководитель:  
Зав. каф., профессор, д.б.н.  
Кураков А.В.

Москва  
2026

# Актуальность

Одним из магистральных направлений материаловедения является разработка материалов с заданными характеристиками, среди которых есть и биостойкость.

В природе многие полимерные материалы плохо разлагаются. Поэтому одной из задач является разработка новых биоразлагаемых материалов.

Вторым направлением является разработка биостойких материалов, которые бы не разрушались и не заселялись микроорганизмами.

Данные задачи можно решать в т.ч. при помощи разработки композитных материалов.



Биоразлагаемая полимерная бутылка



Поврежденная плесенью изоляция проводов на станции "МИР" (ИМБП РАН)

## **Цель работы:**

Обобщение данных литературы по приемам изменения биостойкости полимерных органических композитных материалов.

## **Задачи:**

1. Рассмотреть классификации полимерных материалов
2. Дать обзор приемов создания материалов с пониженной биостойкостью (биоразлагаемых)
3. Обобщить данные о механизмах действия наночастиц и их применении в композитных полимерах для повышения биостойкости
4. Дать обзор лабораторных и натурных методов изучения биостойкости материалов

# Определения

Биостойкость – устойчивость материалов к воздействию различных организмов и продуктов их жизнедеятельности (РВСН 20-01-2006).

Композитные материалы – это любые материалы с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз (часть системы, однородная по составу и строению и отделенная от других частей системы (других фаз) границей раздела (межфазной границей). (Бондалетова, Бондалетов, 2013).

# Классы органических полимерных материалов

## По происхождению:

1. Природные
2. Искусственные
3. Синтетические

## По пространственной структуре:

1. Линейные
2. Разветвленные
3. Сетчатые

## По химическому составу главной цепи:

1. Органические
2. Элементоорганические

## По главной цепи:

1. Гомоцепные
2. Гетероцепные

## По мономерам:

1. Гомополимеры
2. Сополимеры

Иные классификации: по физико-химическим свойствам (к примеру, термостабильные полимеры и т.п.), по предназначению (пластмассы, смолы, эластомеры (каучуки), пленки, волокна).

# Классы органических композитных

## По геометрии армирующих элементов:

1. Порошки
2. Волокна
3. Пластины

## По назначению:

1. Общеконструкционного назначения
2. Термостойкие материалы
3. Фрикционные материалы
4. Антифрикционные материалы
5. Ударопрочные материалы
6. Теплозащитные материалы
7. Материалы со специальными свойствами (магнитными, электрическими)

## По структуре и расположению компонентов:

1. Матричные
2. Слоистые
3. Каркасные
4. С комбинированной структурой

## По схеме армирования:

1. Изотропные
2. Анизотропные

## Для матричных композитных материалов:

1. хаотично-армированные
2. упорядоченно-армированные

## По методам получения:

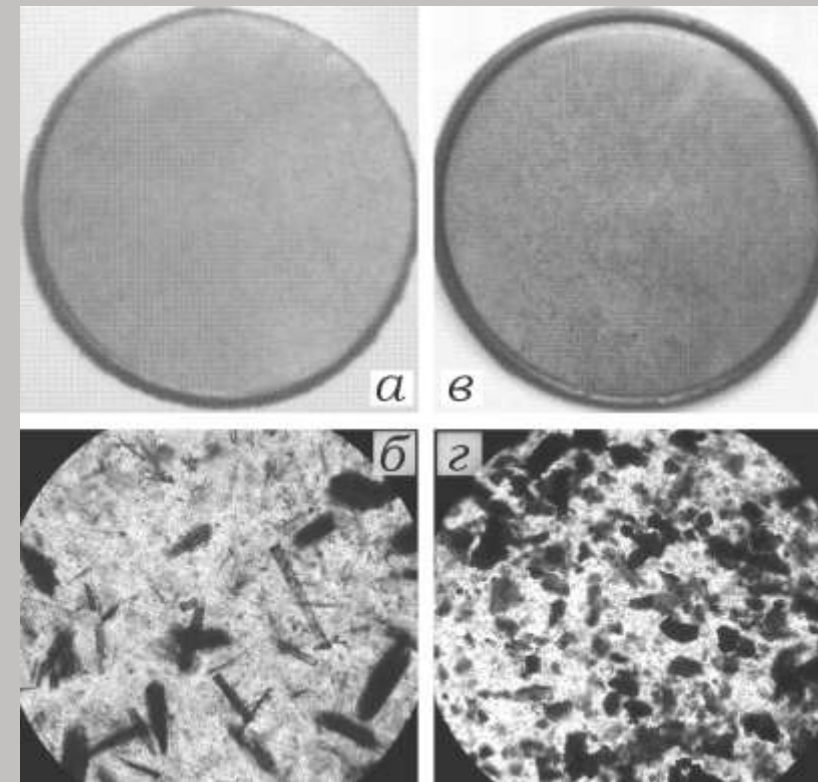
1. Полученные жидкофазными методами  
Пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами, направленная кристаллизация сплавов
2. Полученные твердофазными методами  
Прокатка, экструзия, ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др.
3. Полученные методами осаждения–напыления  
матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т. п.
4. Полученные комбинированные методами  
Последовательное или параллельное применении нескольких методов.

Полимерным композитным материалам с наночастицами:

Хаотично-армированные порошковые – дисперсно-упрочненные композитные материалы

# Примеры успешного снижения биостойкости полимерных материалов за счет создания композитов

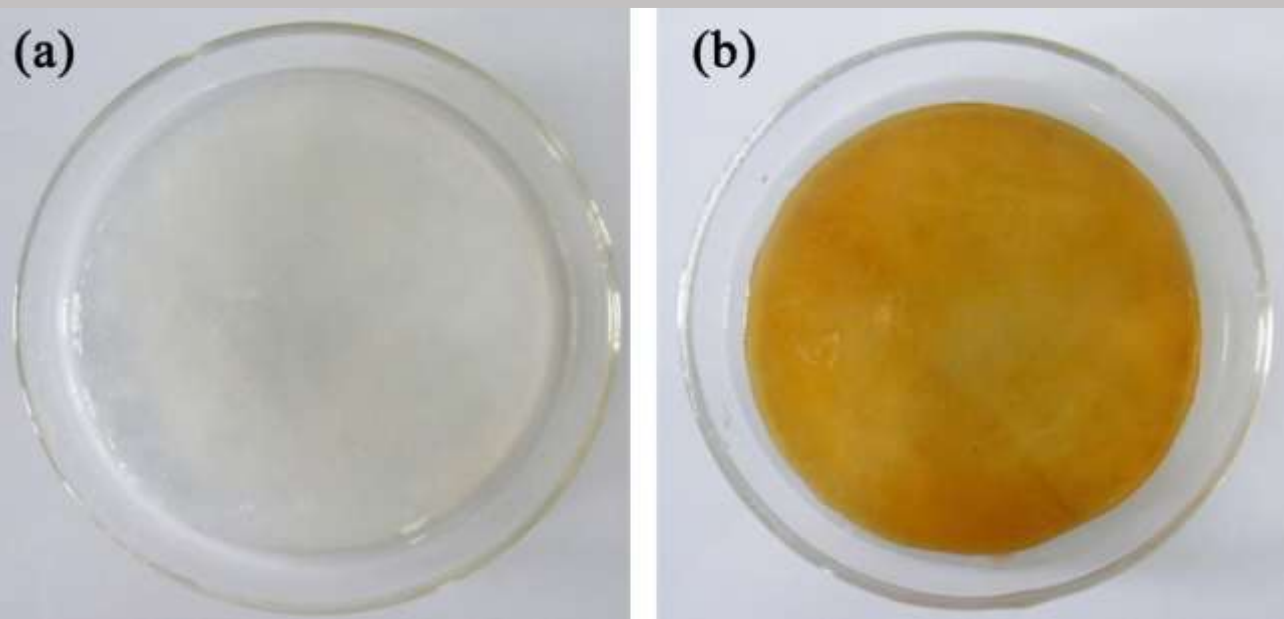
1. Введение природного биоразлагаемого сырья:
  - а. Крахмала в ПВХ (Глаголева и др., 2013)
  - б. Подготовленных растительных отходов сельского хозяйства в ПЭВД (Пантюхов и др., 2012б)
    - I. Льняная костра
    - II. Лузга подсолнечника
    - III. Лигносульфонат натрия
    - IV. Банановая кожура
    - V. Листья березовые
    - VI. Сено разнотравное
2. Введение наночастиц
  - а. Титаната бария в матрице ПЭВД (Kapri et al., 2009)
  - б. SPION (суперпарамагнитные наночастицы оксидов железа) в матрице ПЭВД (Kapri et al., 2010б)
  - с. Фуллерена 60 в матрице ПЭВД (Bhatia et al., 2013)



а) пленка ПЭВД/льняная костра, б) пленка ПЭВД/Костра (x100)  
в) пленка ПЭВД/листья березы, г) пленка ПЭВД/листья (x100).  
Из: Пантюхов и др., 2012б.

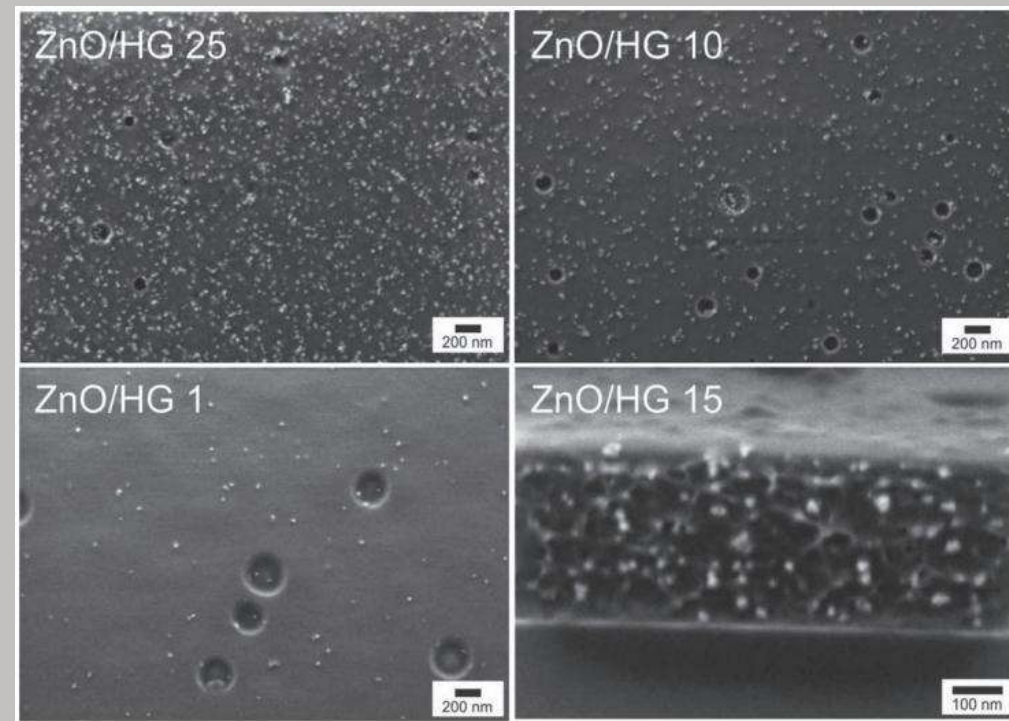
## Подходы повышения биостойкости полимерных материалов за счет создания композитных материалов с наночастицами

Человеку нужны материалы, которые бы не заселялись микроорганизмами. Особенно важно это в медицине, где нестерильные изделия могут привести к заражению и гибели пациента. Т.к. грибы могут включать в метаболизм летучие соединения, то они могут не зависеть от питательности субстрата. Поэтому для предотвращения их развития нужны конкретно биоцидные материалы.



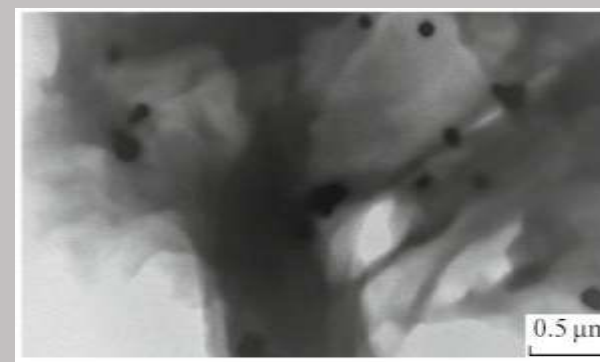
Фотографии мембраны из чистой бактериальной целлюлозы (а) и композита бактериальная целлюлоза/AgNPs (б).

Из: Yang G. *et al.*, 2012.



СЭМ-изображения композита ZnO/PNIPAAm с различным содержанием ZnO 25, 10 и 1 мас.%  
Изображение поперечного сечения пленки нанокompозита ZnO/PNIPAAm толщиной ( $d = 382 \pm 2$  нм) с содержанием ZnO 15 мас.%.

Из Schwartz V. B. *et al.*, 2012.

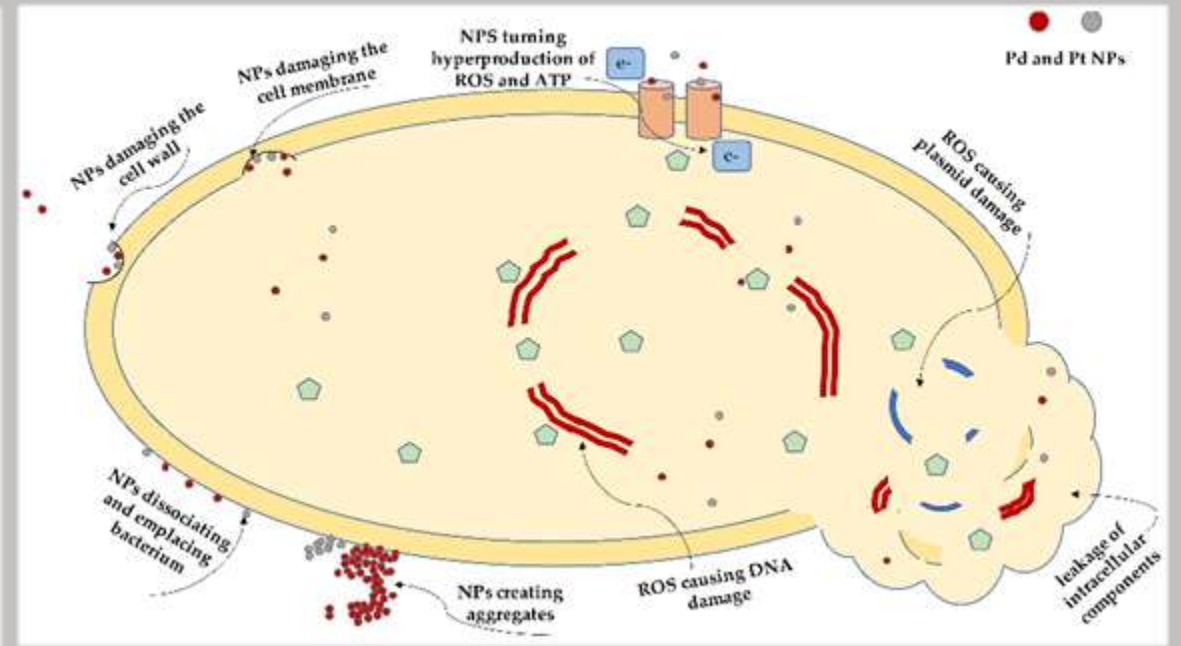
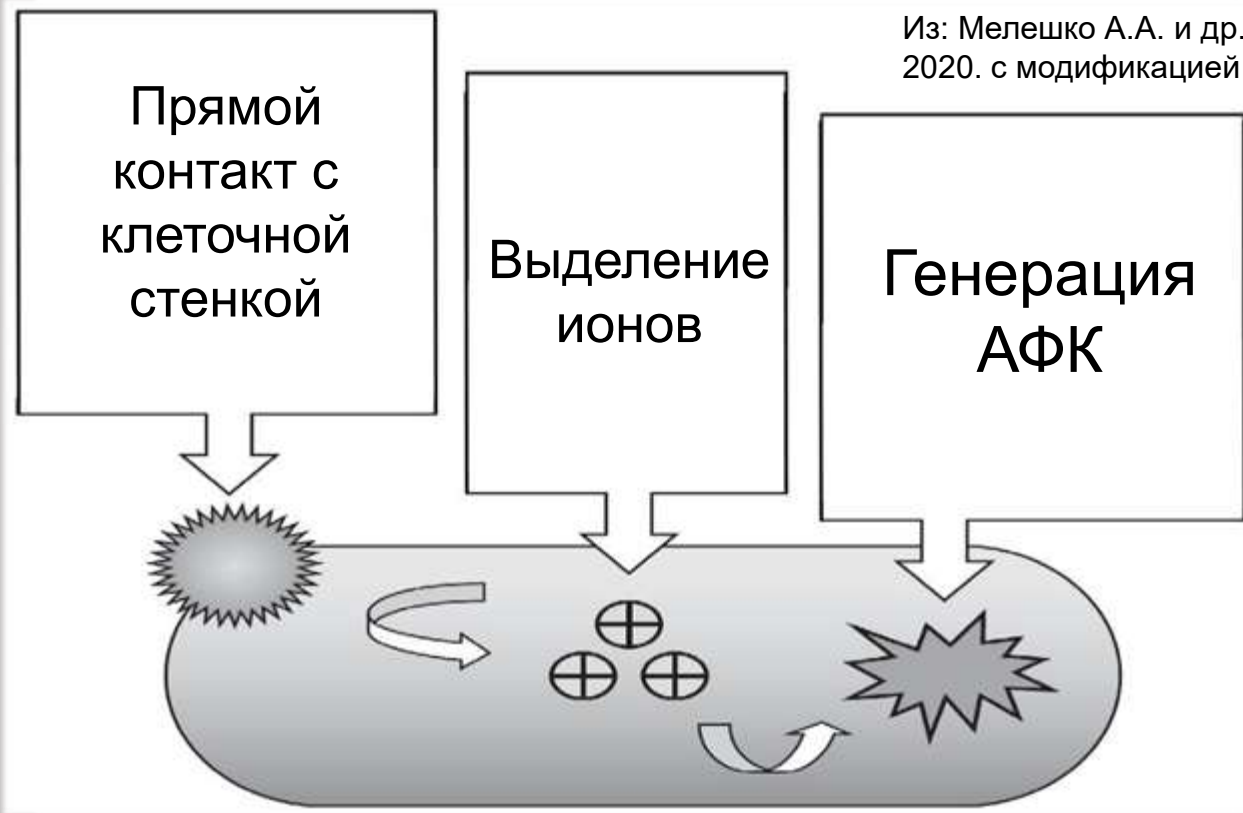


Микрофотография (ПЭМ) композиционного материала на основе ПЭВД и наночастиц Au с концентрацией 10 мас. %.

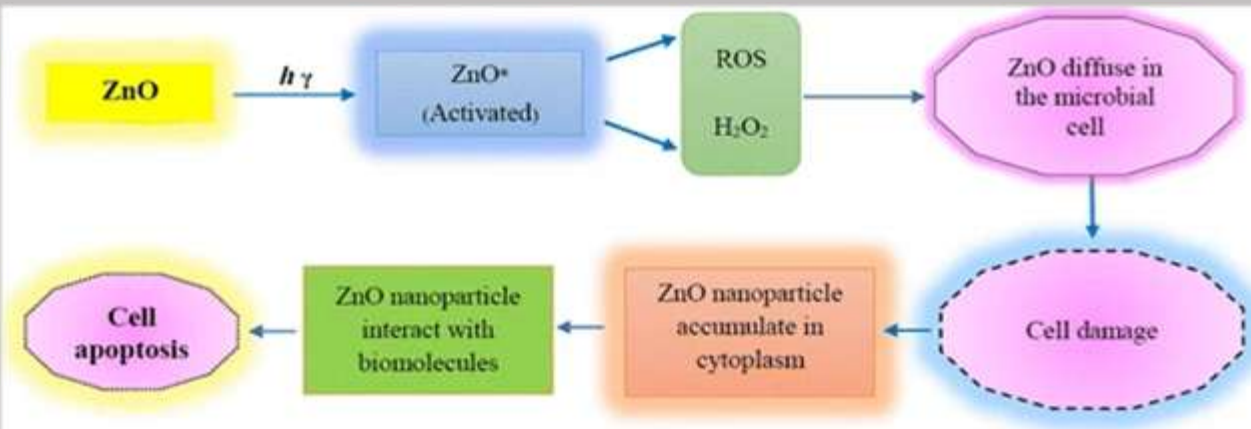
Из Kirillov V.E. *et al.*, 2025.

# Биоцидное свойство наночастиц

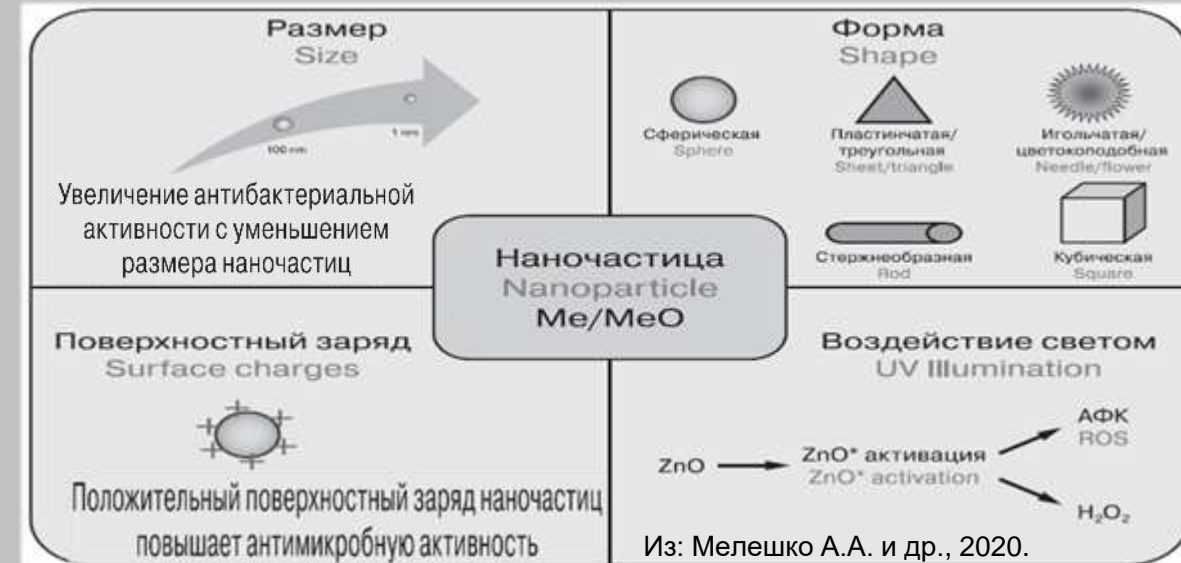
Из: Chlumsky O. et al., 2021.



Факторы, влияющие на антибактериальные свойства наночастиц



Из: Siddiqi K.S. et al., 2018.



Из: Мелешко А.А. и др., 2020.

# Примеры успешных биоцидных композитных материалов на основе наночастиц

Наночастицы серебра в матрице из:

1. полиуретанового акрилата (Melinte et al., 2011) в отношении *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*
2. целлюлозе (Xu et al., 2018; Volova et al., 2018) в отношении *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и других

Наночастицы меди в матрице из:

1. гидроксиэтилцеллюлозы (Гарасько и др., 2009) в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*
2. поливинилметилкетона (ПВМК) (Velazco-Medel et al., 2020) в отношении *Saccharomyces cerevisiae*
3. поливинилхлорида (ПВХ) (Velazco-Medel et al., 2020) в отношении *Saccharomyces cerevisiae*
4. поливинилиденфторида (ПВДФ) (Velazco-Medel et al., 2020) в отношении *Saccharomyces cerevisiae*
5. полиэстер (Pellosi et al., 2025) в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*

Наночастицы золота в матрице из:

1. Полиэтилена высокого давления (Kirillov et al., 2025) в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*

Наночастицы оксида цинка в матрице из:

1. поли(N-изопропилакриламида) (PNIPAAm) (Schwartz et al., 2012) в отношении *Escherichia coli*
2. полиуретана (Vlad et al., 2012) в отношении *Aspergillus brasiliensis*
3. полилактона (Velazco-Medel et al., 2020) в отношении *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus*
4. поливинилового спирта с крахмалом (Thapliyal et al., 2025) в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, а также против деструкторов (в т.ч. плесени) моркови

Наночастицы сульфида цинка в матрице из:

1. политетрафторэтилена (Кириллов и др., 2025) в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*

# Стандарты оценки биостойкости материалов

## Лабораторные

## Приближенные к натурным

## Натурные

Испытания понижающих модификаций	Испытания повышающих модификаций
Для мицелиальных грибов	
1. ГОСТ 9.049-91 a) метод 1 b) метод 2 2. ASTM C1338 3. ISO 846-78 a) метод А	1. ГОСТ 9.049-91 a) метод 3 2. ГОСТ 57859-2017 3. ASTM G21-15 4. ISO 846-78 a) метод В b) метод В'
Для бактерий и дрожжей	
1. ГОСТ 34281-2017 2. ISO 846-2019 a) метод С	Статические: 1. ASTM E2180-07 2. ISO 7581-2023 3. ISO 22196-2011 Динамический: 1. ASTM E2149

1. ГОСТ Р ИСО 16929-2024
2. ГОСТ Р 57224-2016
3. ГОСТ Р ИСО 22404-2022
4. ГОСТ Р ИСО 13975-2022

1. ГОСТ 9.053 – 75

# Лабораторные стандарты оценки биостойкости

## Для мицелиальных грибов

**Заражение споровой суспензией на:**

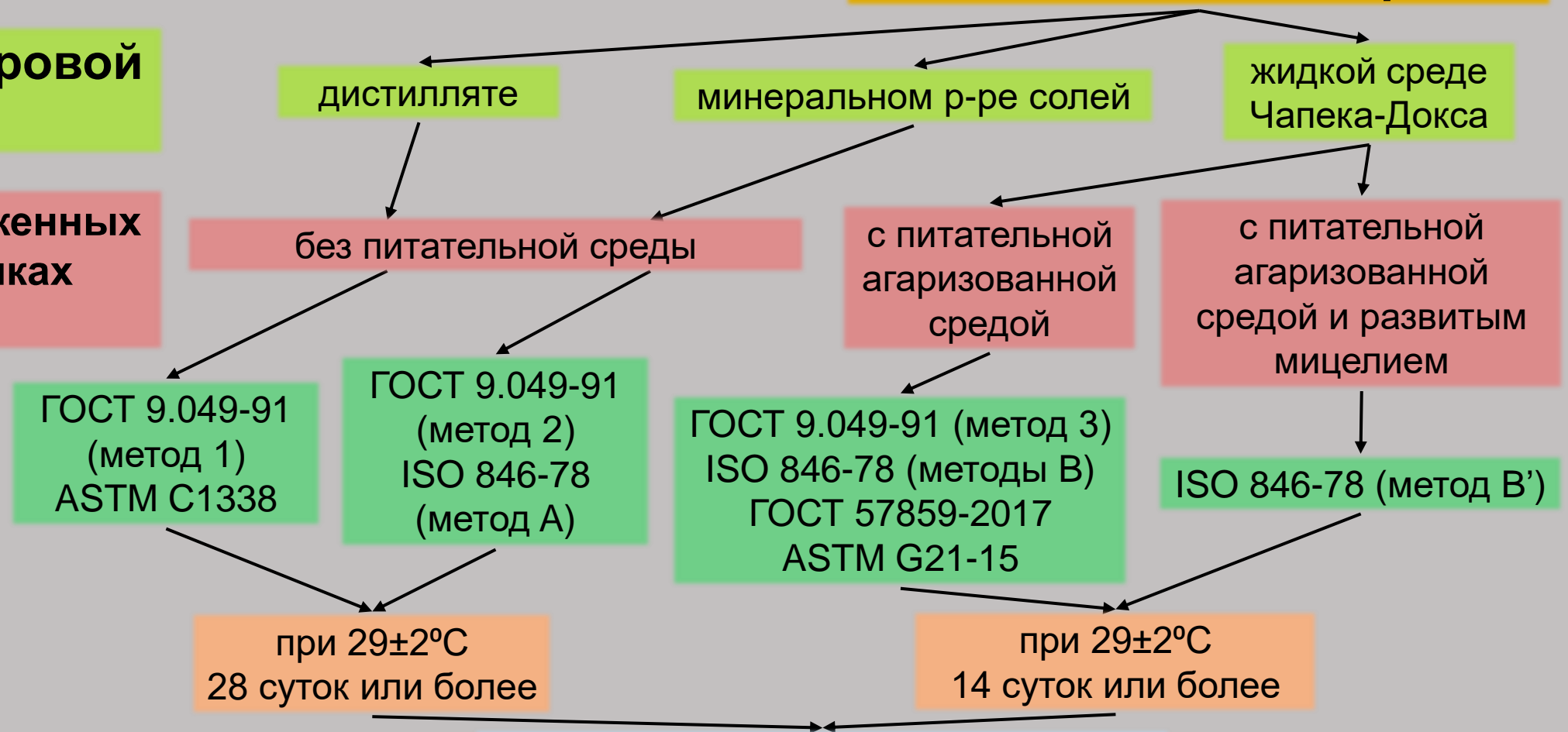
**Размещение зараженных полимеров на чашках Петри:**

**Стандарт:**

**Инкубация:**

**Анализ:**

Тест культуры:  
ГОСТ 9.049-89 – *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus terreus* Thom, *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) Cohn, *Chaetomium globosum* Kunze, *Paecilomyces varioti* Bainier, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium chrysogenum* Thom, *Penicillium cyclopium* Westling, *Trichoderma viride* Pers. ex Fr.  
**Или иные в зависимости от задач**



# Лабораторные стандарты оценки биостойкости Для бактерий и дрожжевых грибов

**Заражение:**

Залитие образца  
инокулированным агаром

Залитие образца  
суспензией

Помещение образца в  
жидкую культуру

**Инкубация:**

при 29°C  
влажности  
> 90%  
4 и более  
недели

при 35°C  
влажности  
> 90%  
24 часа

при 35°C  
влажности  
> 90%  
1 или 24 часа

при 20°C  
влажности  
30-65%  
1 или 24 часа

при 27°C  
120  
об/мин  
180 дней

при 35°C  
max об/мин  
1 или 24  
часа

**Анализ:**

Оценка  
изменений  
физ-хим  
параметров

Подсчет КОЕ в  
агаровом слое

Оценка КОЕ на поверхности  
полимера

Подсчет АТФ в  
культуральной  
среде

Подсчет  
КОЕ в  
среде

**Стандарт:**

ISO 846-2019  
(метод С)

ASTM 2180-07

ISO 22196-2011

ISO 7581-2023

ГОСТ  
34281-2017

ASTM E2149

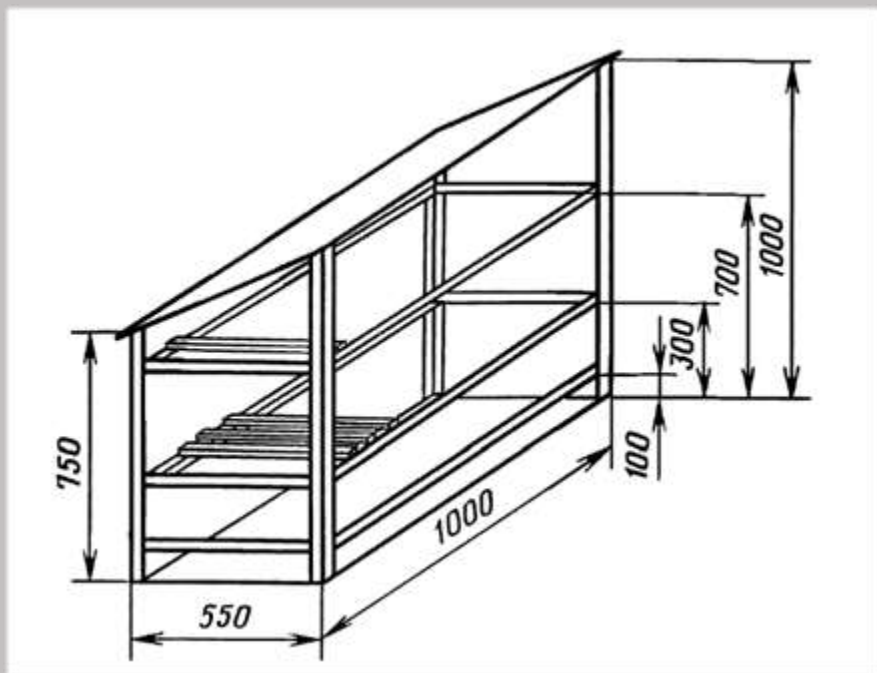
Тест-культуры:

Бактерий: *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus spp.*,  
*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*,  
*Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodococcus rhodochrous* (ГОСТ 34281-2017)

Дрожжи: *Candida albicans* (С.Р. Robin) Berkhout

## Натурные стандарты оценки биостойкости

Сущность: образцы выдерживают в естественных условиях на микологических площадках на испытательных станциях с характерной для данного природно-климатического района растительностью в течении не менее 18 месяцев на специальных стендах.



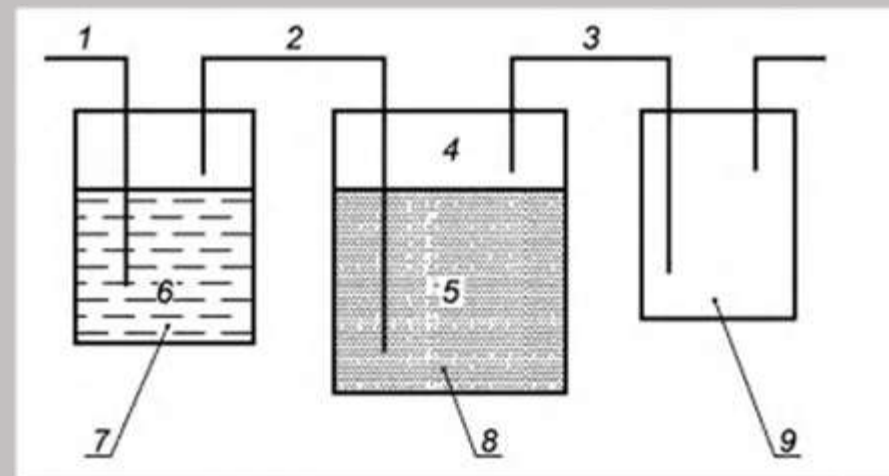
Микологический стенд по ГОСТ 9.906-83

## Промежуточные стандарты оценки биостойкости

Исходная среда микроорганизмов:

1. Компост
  - a) ГОСТ Р ИСО 16929-2024
  - b) ГОСТ Р 57224-2016
2. Морской песок:
  - a) ГОСТ Р ИСО 22404-2022
3. Осадок из бытовых сточных вод
  - a) ГОСТ Р ИСО 13975-2022

Установка изучения выделяемого CO<sub>2</sub>



1 - воздух; 2 - воздух без диоксида углерода. 3 - выходящий воздух; 4 - свободный объем; 5 - испытуемая смесь, 6 - раствор гидроксида натрия; 7 - система удаления диоксида углерода; 8 - емкость для компостирования; 9 - система определения диоксида углерода

# Сравнение лабораторных и натуральных методов

## Лабораторные:

Плюсы:

1. Создание и контролирование требуемых условий
2. Проще стандартизировать

Минусы:

1. На территории СССР на 1987 год встречалось 360 видов полимерных разрушителей (Лугаускас и др., 1987)
2. Тест-организмы могут быть слабее диких штаммов
3. Нет воссоздания сообщества биодеструкторов

## Натурные:

Плюсы:

1. Тест-организмы – реальные (аборигенные) биодеструкторы полимерных материалов
2. Развивается сообщество биодеструкторов
3. Условия проведения эксперимента более полно повторяют условия эксплуатации изделия

Минусы:

1. Нет возможности контролировать условия проведения. Есть зависимость от случайных событий (аномальная погода и т.п.)
2. Длительность экспериментов
3. Для выявления видов бактерий и грибов требуются дополнительные исследования

# Выводы:

1. Рассмотрены существующие классификации полимерных материалов.
2. Дан обзор приемов создания биоразлагаемых полимерных композитных материалов. Среди них перспективны полимеры с введением в матрицу легкоразлагаемых органических соединений, растительных отходов, наночастиц титаната бария, суперпарамагнитных наночастиц оксидов железа, фуллерена C<sub>60</sub>.
3. Рассмотрены приемы создания биостойких композитных полимеров с металлическими наночастицами.
4. Механизмы повышения биостойкости композитов от введения в их состав наночастиц включают выделение последними ионов металлов в среду, генерации активных форм кислорода, повреждения мембран организмов-деструкторов при физическом контакте.
5. Проведен сравнительный анализ государственных (ГОСТов) и международных стандартов для оценки биостойкости полимерных материалов. Показана необходимость совершенствования и сочетания.
6. Возможности использования наночастиц для модификации биостойкости и биоразлагаемости наночастиц далеко не исчерпаны и требует дальнейшего исследования.

**Спасибо за внимание!**