

Прудникова С. В., к.б.н., доцент

ТЕХНИЧЕСКАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ

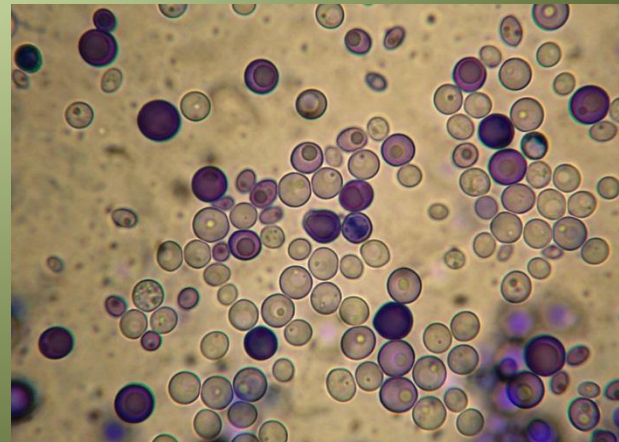
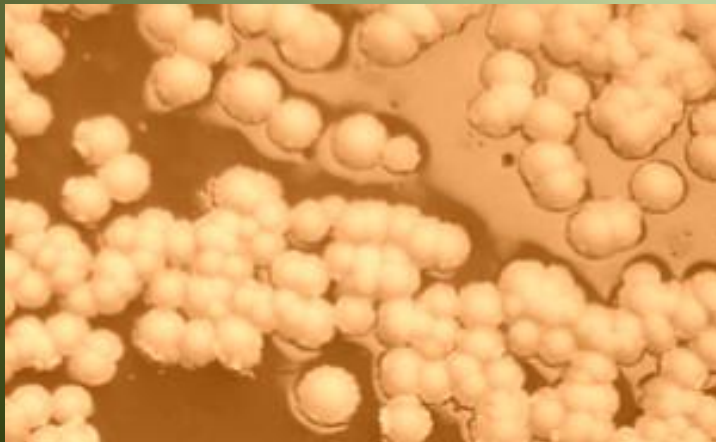
**Технология микробиологических
производств – наука о процессах
и методах переработки
различных видов сырья в
конечные продукты с помощью
микроорганизмов**

Микробиологическое производство в пищевой промышленности

- ◆ Спиртовое брожение в промышленности
- ◆ Молочнокислое брожение в промышленности
- ◆ Микробный синтез органических кислот

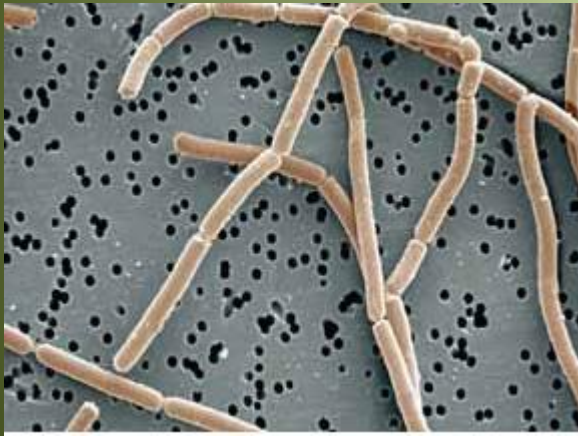
Спиртовое брожение

- ◆ Продукты: разновидности рода *Saccharomyces*. К ним относятся пекарские, винные и пивные дрожжи, которые представляют собой физиологические расы *Saccharomyces cerevisiae*. Клетки круглые и овальные, иногда удлинённые. Вегетативное размножение осуществляется почкованием. При росте на плотных питательных средах образуют пастообразные колонии серо-белого цвета. Все виды активно сбраживают сахара.



Молочнокислое брожение

- ◆ Продукты: разновидности рода *Lactobacillus*. Факультативные анаэробы, микроаэрофилы. Хемоорганотрофы. Осуществляют гомо- и гетероферментативное молочнокислое брожение



<http://microbewiki.kenyon.edu>

Гомоферментативные	Гетероферментативные
Lactococcus, Pediococcus, Lactobacillus casei, Lactobacillus lactis, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus bulgaricus	Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus brevis, Bifidobacterium bifidum

Виды	Оптимальная температура	Свойства
<i>Lactococcus lactis</i>	30-35 °С	Типичные компоненты микрофлоры МК продуктов. Образуют антибиотик низин.
<i>L. termophilus</i>	40-45 °С	Термостойкие.
<i>L. cremoris</i>	30-35 °С	Придают сметанообразную консистенцию. Образуют антибиотик диплококцин.
<i>L. citrovorus</i> , <i>L. diacetylactis</i>	25-30 °С	Образуют летучие кислоты, CO ₂ , спирты, эфиры, диацетил. Способные к биосинтезу витаминов, аминокислот, углеродсодержащих полимеров. Придают продукту специфический запах и консистенцию.
<i>Lactobacillus lactis</i>	30-40 °С	Более сильные кислотообразователи. Образуют антибиотик лактонин.
<i>L. bulgaricus</i> , <i>L. acidophilum</i>	40-45 °С	Термостойкие и кислотоустойчивые. Придают продукту диетические и лечебные свойства. Обладают сильными антибиотическими свойствами по отношению к гнилостной микрофлоре.
<i>Leuconostoc dextranicum</i>	20-30 °С	Образуют полисахариды, придающие продукту тягучую консистенцию.
<i>L. citrovorum</i>		Расщепляет лимонную кислоту с образованием диацетила, придающего приятный вкус молочным продуктам.
Молочные дрожжи	20-30 °С	Обеспечивают спиртовое брожение, придавая напиткам слегка острый, вкус и пенистую консистенцию.
<i>Bifidobacterium</i>	37-40 °С	Обладают выраженной антибиотической активностью и терапевтическими свойствами, подавляют развитие многих патогенных микробов. Используются для приготовления лечебных продуктов.

МОЛОЧНОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- ◆ При длительном хранении сырого молока (при температуре выше 10°C) происходит **смена фаз** микрофлоры:

- 1 – бактерицидная **фаза**;
- 2 – фаза смешанной микрофлоры;
- 3 – фаза молочнокислых бактерий;
- 4 – фаза дрожжей и плесеней.

- ◆ Обработка молока:

Очистка, нормализация, пастеризация или стерилизация.

Кратковременная пастеризация: $76 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 15-20 секунд.

Моментальная пастеризация: $85-95^{\circ}\text{C}$ без выдержки.

Стерилизация: $135-140^{\circ}\text{C}$ в течение 3-4 секунд.

Кефирные грибки



Кефирные грибки – симбиоз мезофильных молочнокислых (*Lactococcus*) и ароматобразующих (*Leuconostoc*) стрептококков, мезофильных и термофильных молочнокислых палочек, уксуснокислых бактерий и молочных дрожжей

Молочнокислые продукты

- ◆ Простокваша – обыкновенная простокваша, ряженка, варенец, йогурт, мацун, мацони, куранга, айран, катык и др.



Кумыс



Сравнительная классификация марок сыра

Французская	Марки	Российская
Свежие сыры	Fromage blanc, Petit Suisse, Cottage cheese, Любительский	Мягкие/свежие
Сыры с плесневой корочкой	Camambert, Brie, Chaource, Blanchette, Белый, Десертный	Мягкие с плесенью на поверхности
Сыры с промытой плесневой корочкой	Maroilles, Mont d'Or, Romadur, Limburger, Дорогобужский	Мягкие/слизневые сыры
Сыры из козьего молока	Crottin de Chavignol, Saite-Maure, Picodon	Сыры из козьего молока
Голубые сыры	Roquefort, Brue de Brisse, Saint Agur, Dorblu	Мягкие/с плесенью во всей массе сыра
Прессованные вареные сыры	Emmental, Comte, Beaufort, Maasdam, Советский, Швейцарский, Алтайский	Твердые сычужные/ с высокой t 2-го нагревания
Прессованные невареные сыры	Cantal, Edam, Gouda, Palet d'Or, Oltermanni, Cheddar, Российский, Голландский, Костромской	Твердые сычужные/ с низкой t 2-го нагревания
Плавленые сыры	Rambol, La vache qui rit, President, Viola, Янтарь, Волна	Плавленые сыры

Микробиологическое получение органических кислот

Молочная

Масляная

Пропионовая

Глюконовая

Кетоглутаровая

Винная

Пировиноградная

Лимонная

Уксусная

МОЛОЧНАЯ КИСЛОТА



D-молочная кислота:

Lactobacillus delbrukii, Lactococcus lactis.

L-молочная кислота:

Lactobacillus leishmanii, Leuconostoc mesenteroides.

Субстраты:

патока, меласса, крахмал, молочная сыворотка,
растительное сырье

Получение

- *Lactobacillus delbruckii* + меласса
- Ферментация (50 °С)
- Отделение биомассы
- Обработка известью
- Кристаллизация
- Отделение Са-лактата
- Обработка H_2SO_4
- Осаждение Fe и тяжелых металлов
- Фильтрация
- Выпаривание
- Кристаллизация
- Фильтрация
- Лактат

УКСУСНАЯ КИСЛОТА



Продуценты:

Acetobacter — *A. aceti*, *A. rancens*, *A. xylinum*.

Субстраты:

виноградное вино и сидр, пивное сусло, мед, плодово-ягодные соки, водный раствор этилового спирта

ИЗОЛИМОННАЯ КИСЛОТА



Используется в диагностических наборах для определения продуктов и ферментов, для лечения пациентов, страдающих анемией, для увеличения энергетического тонуса.

α -КЕТОГЛУТАРОВАЯ КИСЛОТА



Применяется в клинической практике за рубежом и в нашей стране для измерения активности ферментов. Эти тесты широко используются для диагностики заболеваний (гепатитов, инфекции миокарда, дистрофии мышц, дерматитов).

ЛИМОННАЯ КИСЛОТА



- Пищевая промышленность и напитки – 70%
- Фармацевтическая промышленность и БАД – 10%
- Синтетические моющие средства – 20%
- Лимонная кислота (Е330), цитрат натрия (Е331), цитрат кальция (Е333), цитрат калия (Е332) разрешены Евросоюзом в качестве добавок к пищевым продуктам без ограничений.
- Ежедневная доза лимонной кислоты в рационе 50-120 мг/г веса.
- Мировая потребность – 1 400 тыс. тонн.

Yarrowia lipolytica
(этанол, глицерин, масло)

Ферментация

Отделение биомассы

Обесцвечивание

Подтитровка

Выпаривание

Кристаллизация

Фильтрация

Сушка

Na-цитрат техн.

Na-цитрат
концентрат.

Aspergillus niger
(меласса)

Обработка мелассы

Ферментация

Отделение биомассы

Обработка известью

Отделение и промывка Ca-цитрата

Обработка H_2SO_4

Фильтрация гипса

Обесцвечивание

Подтитровка

Выпаривание

Кристаллизация

Фильтрация

Сушка

Na-цитрат техн.

Сравнение процессов производства
лимонной кислоты
с помощью грибов и дрожжей

МИКРОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Микробиометод

- ◆ **Преимущества:**
 - ◆ *избирательность*
 - ◆ *экологичность*
- ◆ **Сущность метода – отбор микробов-антагонистов и применение их в виде концентрированных продуктов метаболизма (антибиотиков) или в виде живых культур.**

Бактериальные болезни



Pseudomonas marginalis



Pseudomonas syringae



Xanthomonas fragariae



Erwinia carotovora



Erwinia amylovora

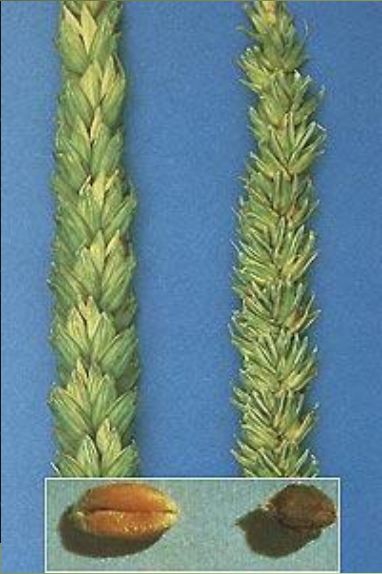


Pseudomonas malvacearum

Грибные болезни



Pyricularia



Tilletia



Fusarium



Bipolaris



Rhizoctonia



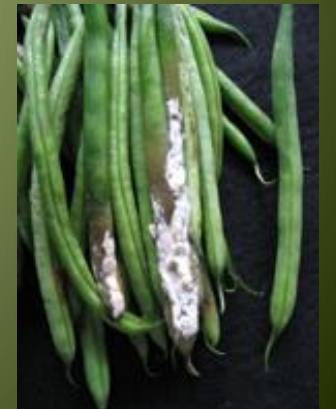
Erysiphe



Botrytis



Puccinia



Sclerotinia

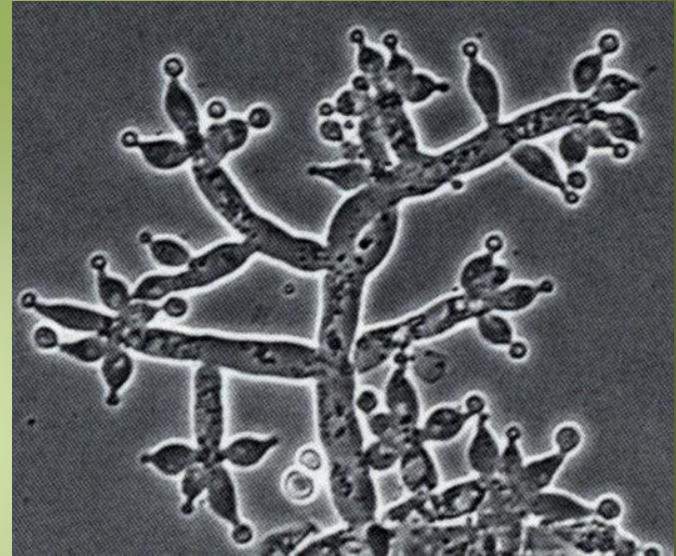
Использование антибиотиков

- ◆ *Продуценты – Actinomyces*
- ◆ Антибиотики: касугамицин, стрептомицин, актидион, тетраамицин
- ◆ Препараты: «агримицин», «агристеп», «фитомицин», «фитостреп»
- ◆ *Продуценты – Trichoderma, Trichotecium, Penicillium*
- ◆ Антибиотики: глиотоксин, трихотецин, гризеофульвин

Грибы-гиперпаразиты

- ◆ Биотрофы или сбалансированные паразиты.
 - ◆ хитридиомицеты,
 - ◆ грибы из родов *Piptocerphalis*, *Ampelomyces*.
- ◆ Факультативные некротрофы и факультативные биотрофы.
- ◆ Некротрофы или неспециализированные микопаразиты.
 - ◆ грибы из рода *Trichoderma*.

Грибы рода *Trichoderma*



Механизмы действия триходермы:

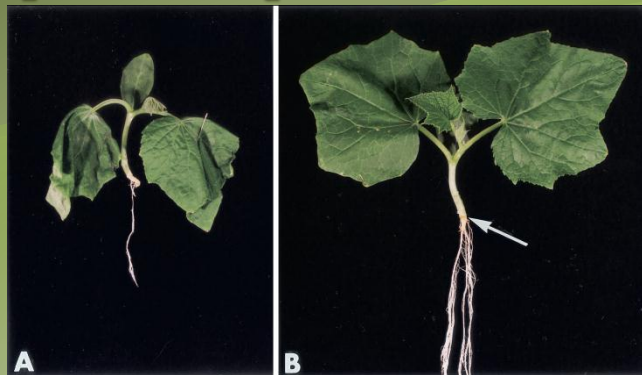
- ◆ **Литические ферменты:** β -1-3-глюканаза, хитиназа, манназа, ламинариназа, целлюлаза, протеазы.
- ◆ **Антибиотические вещества:** триходермин, соцукаллин, дермадин, виридин, глиотоксин, алламицин, трихополины А, В и др.
- ◆ **Летучие метаболиты:** ацетальдегид, этанол, ацетон, лактон, этилен, терпеновые дериваты, дериваты α -пирона.

Препараты на основе гриба *Trichoderma (Gliocladium)*

- ◆ Триходермины, Глиокладин
- ◆ Bio-Fungus, Binab T, RootShield, T-22G, T-22 Planter Box, Promote, SoilGard, Supresivit, Trichodex, Trichopel, Trichoject, Trichodowels, Trichoseal, Trichoderma 2000



Грибные препараты для защиты растений



- ◆ *Coniothyrium minitans*: Contans
- ◆ *Ampelomyces quisqualis*: AQ10
- ◆ *Fusarium oxysporum*: Biofox C, Fusaclean
- ◆ *Candida oleophila*: Aspire
- ◆ *Phlebia gigantea*: Rotstop, P.g. Suspension
- ◆ *Pythium oligandrum*: Polygandron

Бактериальные препараты

- ◆ *Bacillus subtilis*: Алирин – Б, Гамаир
- ◆ *Pseudomonas fluorescens*: Планриз
- ◆ *Pseudomonas aureofaciens*: Агат-25К, Псевдобактерин
- ◆ *Bacillus megaterium* и *Pseudomonas aureofaciens*: Альбит



Бактериальные препараты

- ◆ *Agrobacterium radiobacter*: Galltrol-A, Nogall, Diegall, Norbac 84C
- ◆ *Bacillus subtilis*: Epic, Kodiak, Rhizo-Plus, System 3
- ◆ *Burkholderia cepacia*: Blue Circle, Deny, Intercept
- ◆ *Pseudomonas fluorescens*: BlightBan A506, Conquer, Victus
- ◆ *Pseudomonas syringae*: Bio-save 100, Bio-save 110
- ◆ *Streptomyces griseoviridis*: Mycostop

Биологическая борьба с вредными насекомыми



- ◆ В борьбе с вредными насекомыми используются бактерии, микроскопические грибы, вирусы.
- ◆ Л. Пастер – болезни шелковичного червя



Anisoplia austriaca

- ◆ И. И. Мечников – заболевание хлебного жука, вызываемое зеленой мускардиной (гриб *Metarrizium anisopliae*).

Требования к потенциальным биоагентам:

Высокая вирулентность для насекомого-мишени, малая изменчивость.

Безопасность для других живых организмов.

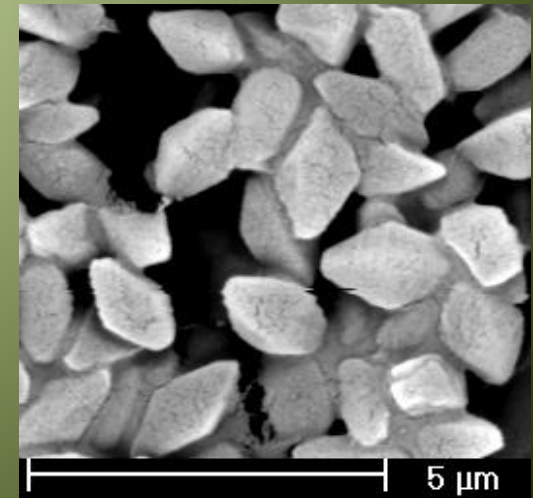
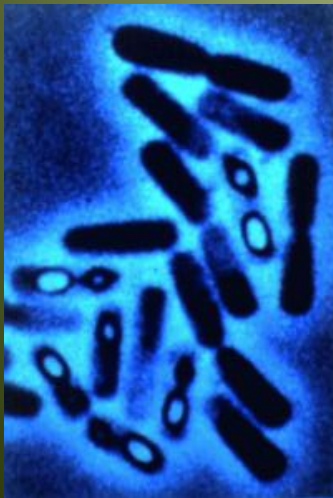
Экономичность при выращивании.

Возможность длительного хранения без потери жизнеспособности и вирулентности.

Быстрота действия, чтобы насекомое до прекращения питания или гибели не успело нанести серьезного ущерба.

Энтомопатогенные бактерии

- ◆ *Bacillus thuringiensis* – грам(+) спорообразующие палочки.
- ◆ α -экзотоксин – фосфолипаза С.
- ◆ β -экзотоксин – термостабильный экзотоксин (15 мин при 121 °С). Ингибирует РНК-полимеразу.
- ◆ γ -экзотоксин – группа ферментов.
- ◆ δ -эндотоксин – параспоральный кристаллический эндотоксин



Подвиды *Bacillus thuringiensis* (Bt):

- ◆ *var. tenebrionis* — личинки колорадского жука и жуков-листоедов
- ◆ *var. kurstaki* — гусеницы
- ◆ *var. israelensis* — комары, мошка
- ◆ *var. aizawai* — гусеницы восковой огнёвки, капустной моли и др.



Препараты на основе Bt



- ◆ энтобактерин
- ◆ инсектин
- ◆ алестин
- ◆ ЭКЗОТОКСИН
- ◆ токсобактерин
- ◆ дендробациллин
- ◆ битоксибациллин
- ◆ бактицид



ООО ПО "Сиббиофарм»
г. Бердск



Препараты на основе Bt

- ◆ Dipel
- ◆ Biothur
- ◆ Vectobac
- ◆ AquaBac
- ◆ Thuricide
- ◆ Lipel



Энтомопатогенные грибы

- ◆ Класс Zygomycetes
- ◆ Род *Entomophthora*
 - ◆ *E. muscae*
 - ◆ *E. taxteriana*
 - ◆ *E. virulenta*



- ◆ Класс Ascomycetes
- ◆ Род *Cordiceps*
 - ◆ *C. militaris*
 - ◆ *C. clavulata*



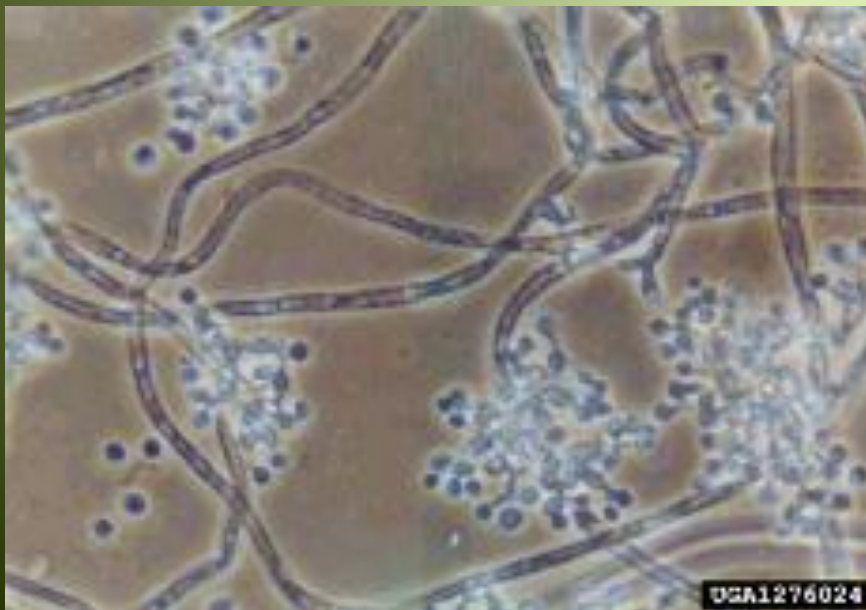
Энтомопатогенные грибы

- ◆ Класс *Deuteromycetes*
- ◆ *Verticillium lecani*
- ◆ *Paecilomyces farinosus*



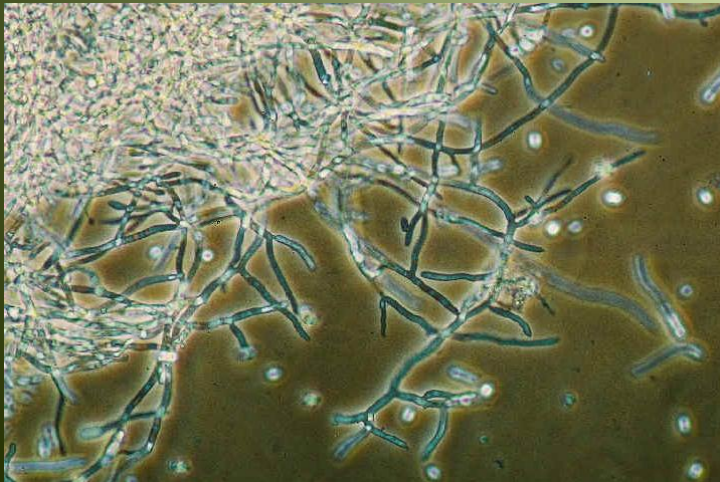
Энтомопатогенные грибы

- ◆ *Beauveria bassiana* – вызывает заболевание «белая мускардина». Паразитирует на 140 видах насекомых.
- ◆ Препараты: Боверин, BIOWONDER, RACER BB



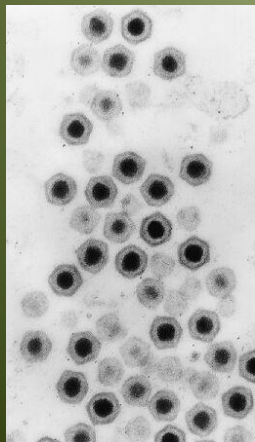
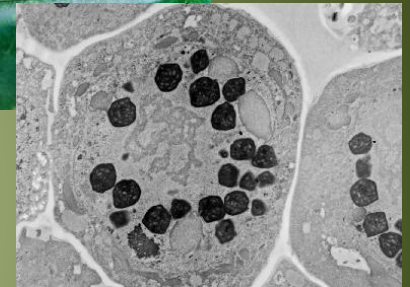
Энтомопатогенные грибы

- ◆ *Metarrhizium anisopliae* – вызывает «зеленую мускардину». Поражает более 200 видов насекомых.
- ◆ Препараты: Метариз, BIOMAGIC



Энтомопатогенные вирусы

- ◆ *Baculovirus* – включает 2 группы вирусов, вызывающих ядерные полиэдрозы и гранулезы.
 - ◆ Препараты: Вирин, SPODOCOP
- ◆ *Iridovirus* – группа радужных вирусов



Энтомопатогенные вирусы

- ◆ *Entomopoxvirus* – группа вирусов оспы.
- ◆ *Reovirus* – вирусы цитоплазматического полиэдроза.
- ◆ *Densovirus* – возбудители денсонуклеоза.
- ◆ *Rhabdovirus* – типовой вирус σ-дрозофилы.
- ◆ *Enterovirus* – энтеровирусы, поражают кишечник.



Экологические аспекты технической микробиологии

Перспективные направления:

- ◆ Создание и использование более активных продуцентов
- ◆ Замена сред и реагентов на менее дефицитные
- ◆ Иммобилизация биообъектов, многократное их использование для уменьшения отходов
- ◆ Внедрение мембранной технологии на стадии выделения и очистки целевого продукта
- ◆ Соблюдение правил GMP

Утилизация ОТХОДОВ

Вредное влияние могут оказывать:

- ◆ Жизнеспособные микроорганизмы-продуценты
- ◆ Продукты микробиологического синтеза
- ◆ Продукты жизнедеятельности микроорганизмов, обладающие антибактериальными, ферментными или токсическими свойствами

Характеристика сточных вод

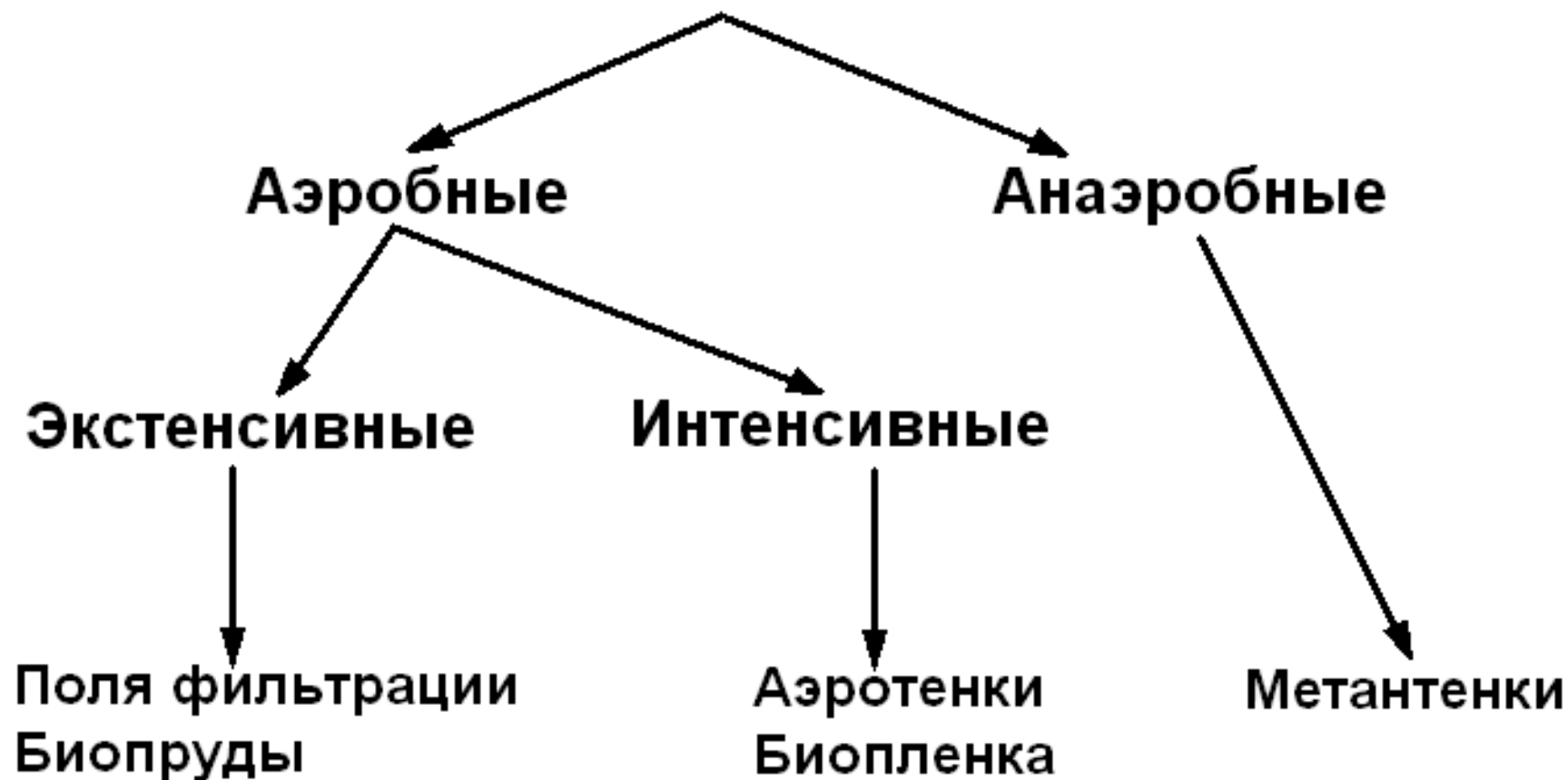
Показатели, мг/л	Гидролизно-дрожжевое производство	Производство антибиотиков	Производство ферментов
рН	5,5	6,5	7,0
БПК ₅	2400	1000-7000	320
БПК _{полн}	3000	1400-9000	410
Взвешенные вещества	950	2000-5000	500
Азот аммонийный	150	100-200	30
Фосфаты	40	3-150	1,3
Фурфурол	50	-	-

Основные виды очистки

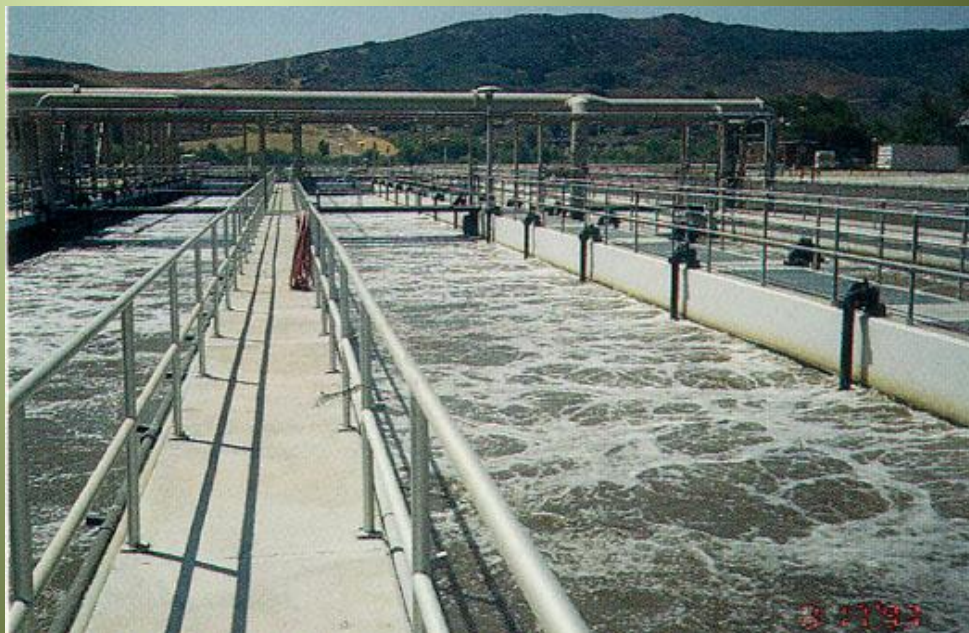
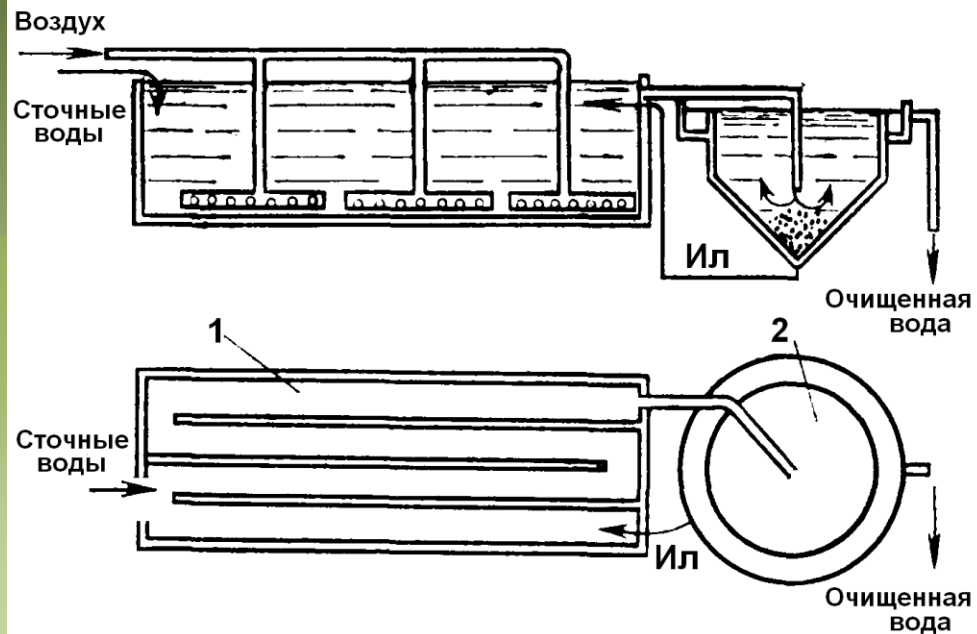
- ◆ Механическая
- ◆ Физико-химическая
- ◆ Химическая
- ◆ Термическая
- ◆ Биологическая



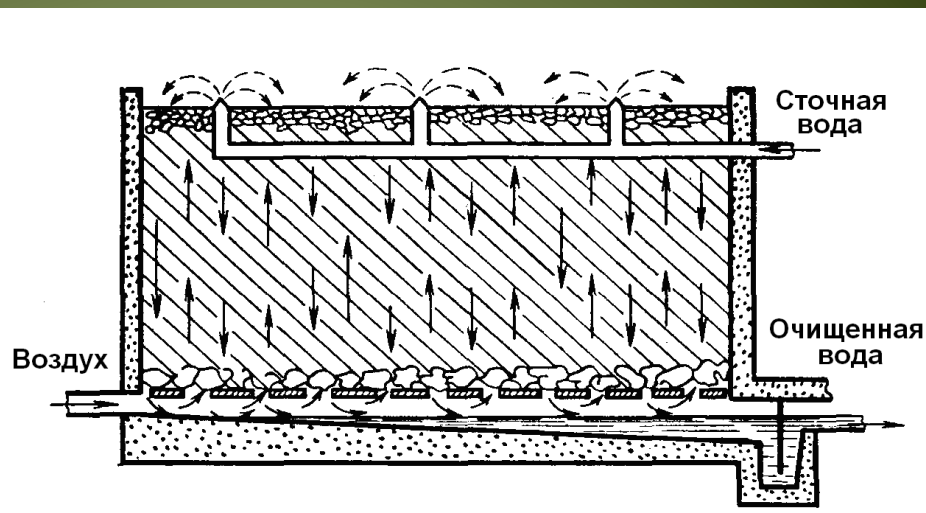
Методы биологической очистки сточных вод



Аэротенк



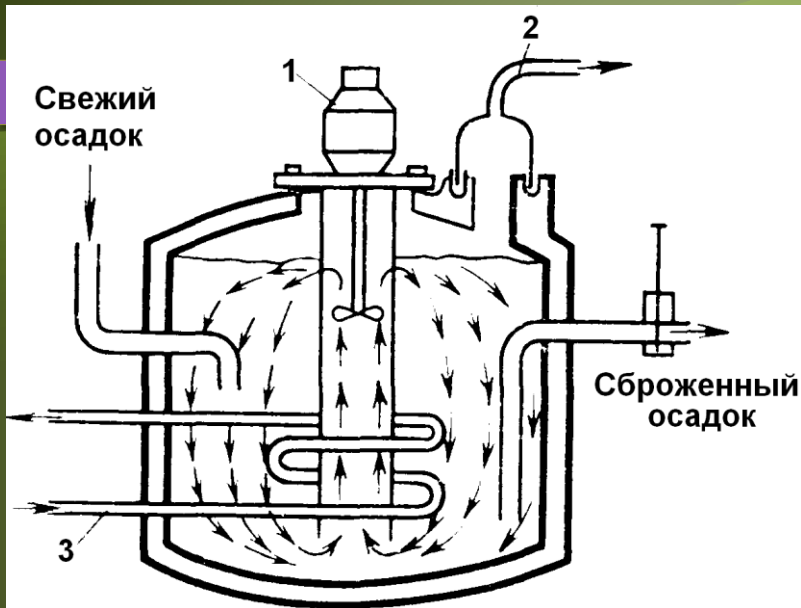
Биофильтр



Вторичный отстойник



Анаэробная очистка сточных



<http://www.lopp.de>

- ◆ Метантенк

Стадии анаэробного разложения органического вещества

1. Гидролитическая (белки, липиды, полисахариды).
2. Кислотогенная (рН не выше 6,5 температура 35-37 С), связана с активностью водородобразующих бродильщиков. Конечные продукты метаболизма – H_2 , CO_2 , CO , ацетат и спирты.
3. Метаногенная, температура 55 С.

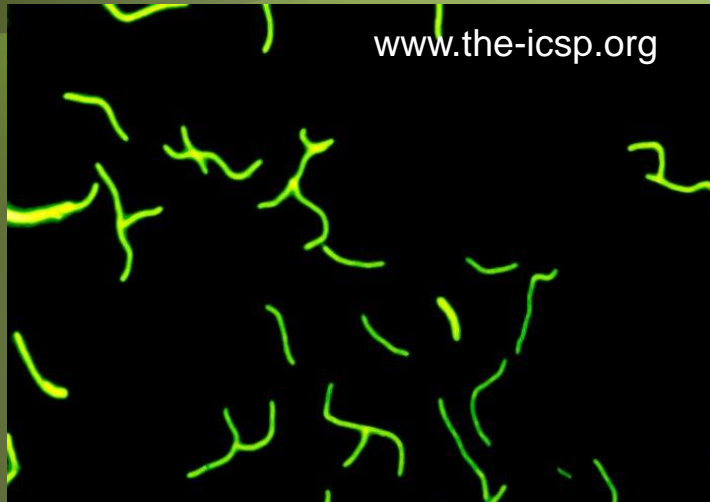
Микрофлора метантенка

Неметаногенная

- ◆ Преобладают: *Enterobacteriaceae*, *Bacillaceae* (*B.cereus*, *B.megaterium*, *B.pumilis*, *C.perfringens*, *C.perenne*, *C.filiforme*, *C.manginotti*), *Lactobacillaceae*
- ◆ *Peptococcus*, *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*.
- ◆ Целлюлозоразрушающие: *Ruminococcus albus*, *R.flavofaciens*, *Veilonella alcalescens*, *Megasphaera elsdeni*.
- ◆ *Ascillospira*, *Spirochaeta*, *Propionibacterium* (*P.freudenreichii*, *P.shermanii*, *P.acidi-propionici*), *Butirivibrio*, *Desulfotomaculum ruminus*, *Selenomonas ruminantius*.
- ◆ Денитрификаторы – *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *P.denitrificans*, *Bacillus*.
- ◆ Пурпурные бактерии – *Rhodopseudomonas*.
- ◆ Грибы.

Микрофлора метантенка

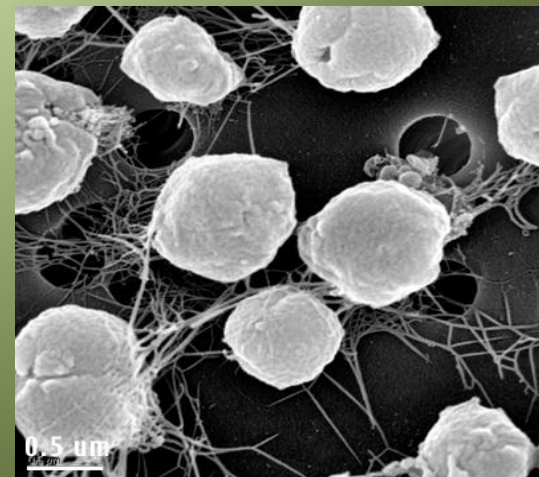
- ◆ Метаногенная



1. *Methanobacterium*

2. *Methanosarcina*

3. *Methanococcus*



Биоремедиация почвы

Роль микроорганизмов в защите почвы от антропогенных загрязнений



Биоремедиация почвы

Причины и виды загрязнения почвы

- ◆ 1. Широкомасштабное территориальное (глобальное).
- ◆ 2. Территориально ограниченное.
- ◆ 3. Локальное узкоограниченное.



Загрязнение почвы
проявляется в двух формах:

- ◆ физическое изменение;
- ◆ химическое загрязнение.

Типы загрязнителей

- ◆ газы
- ◆ пыль
- ◆ соли
- ◆ агрохимикаты
- ◆ органические газы и жидкости
- ◆ радиоактивные осадки



Биологическая рекультивация техногенных земель

- ◆ Строительство транспортных сооружений, трубопроводов, железных и автомобильных дорог.



Разработка карьеров строительных материалов, добыча полезных ископаемых открытым способом.

Схема заселения:

1 год:

- ◆ Нитрифицирующие бактерии и накипные лишайники
- ◆ Зеленые, желтозеленые водоросли аэрофиты
- ◆ Азотфиксирующие цианобактерии
- ◆ Нитчатые водоросли
- ◆ Микроскопические грибы
- ◆ Первичная растительность
- ◆ Гетеротрофные бактерии

2-4 год: формирование микробного комплекса.

5-12 лет: увеличение численности и разнообразия микроорганизмов, формирование зональных почв.

Этапы рекультивации:

- ◆ Горнотехнический.
- ◆ Химическая минерализация.
- ◆ Биологическая рекультивация.



Химические изменения почвы и микробиологическая защита

Действие тяжелых металлов на микробные процессы в почве

Металлы	Характер действия
Ртуть, свинец, цинк, медь	Ингибируют фиксацию азота и разложение целлюлозы.
Хром	Угнетает процессы аммонификации и нитрификации.
Кадмий, свинец, ванадий	Угнетают процессы нитрификации, увеличивают число споровых, снижают общую численность микроорганизмов.

Чувствительность микроорганизмов к тяжелым металлам

- ◆ Более устойчивы к металлам *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Streptomyces*, многие виды целлюлозоразрушающих микроорганизмов.
- ◆ Пигментированные микроорганизмы.
- ◆ Окрашенные грибы *Penicillium purpurogenum*, *Aureobasidium pullulans*, *Cryptococcus laurentii*, *Rhodotorula sp.*, *Rhodospiridium sp.*



Рекультивация нефтезагрязненных ПОЧВ

- ◆ Микроорганизмы, использующих n-алканы и ароматические углеводороды:



Arthrobacter, Bacillus, Brevibacterium, Nocardia, Pseudomonas, Rhodococcus и аспорогенные дрожжи родов *Candida, Cryptococcus, Rhodotorula, Rhodosporidium, Sporobolomyces, Torulopsis, Trichosporon*.

Этапы рекультивации:

- ◆ Подготовительный:
 - ◆ Сбор нефтепродуктов
 - ◆ Интенсификация физико-химической деградации нефти
- ◎ Микробиологический:
 - Рыхление, полив
 - Источники N, P, K, Na, микроэлементы
 - Внесение бактериальных препаратов
- ◎ РНЕНОВАС, РЕТРОВАС.
- ◎ Бациспецин: *Bacillus sp. 739*, Институт биологии (г. Уфа).
- ◎ Девороил: *Pseudomonas, Candida, Rhodococcus*, Институт микробиологии РАН (г. Москва) и АО «Башресурсы» (г. Уфа)



- ◎ Восстановительный:
 - ◎ Гипсование, известкование
 - ◎ Обработка ПАВ
- ◎ Фитомелиоративный
 - Посев многолетних трав



Загрязнение почв пестицидами



- ◆ 1939 г П. Мюллер показал перспективность использования ДДТ.
- ◆ Наиболее выраженным токсическим действием обладают пестициды хлорорганической и фосфорорганической групп, органические соединения меди, ртутьорганические соединения и производные фенола. Малотоксичными являются пестициды группы карбаматов и производные мочевины.

Чувствительность микроорганизмов к пестицидам

- ◆ Наиболее сильно угнетаются грибы: отдельные виды родов *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Trichoderma*.
- ◆ Из бактерий наиболее устойчивы к пестицидам псевдомонады, коринебактерии, флавобактерии и агробактерии.
- ◆ В расщеплении молекулы пестицида участвуют ферменты, которые осуществляют реакции: гидроксирования и разрыва ароматического кольца, окисления, расщепления эфирной связи, деметилирования, декарбоксилирования, дезаминирования, дегидрогенизации и другие.

Примерная скорость разрушения в почве пестицидов

Соединение	Техническое наименование	Примерный период распада
Трихлоруксусная кислота	ТХА	2-9 недель
2,3,6-Трихлорбензойная кислота	2,3,6 ТБК	Около 2 лет
Дихлоральмочевина	ДХМ	3-6 лет
2-Хлор, 4,6 бис-(этил-амино)-симметриазин	Симазин	1 год и более
2,4-Бис (4-хлорфенил) 1,2,3-трихлорэтан	ДДТ	Около 10 лет
1,2,3,4,5,6-Гексахлорциклогексан	ГХЦГ	10 лет

Направления исследования процессов деградации пестицидов с помощью микроорганизмов

1. Поиск в природе микроорганизмов, способных к деструкции пестицидов.
2. Усиление способности культур к детоксикации путем их адаптации к пестицидам, а также в результате химического мутагенеза.
3. Генетическое конструирование микроорганизмов.