

Научное общество учащихся «Эврика»  
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Школа №32»  
Приокского района г. Н. Новгорода

## **РЕФЕРАТ**

**«Исследование антигрибковой активности сложного оксида металлов  
CsTeMoO<sub>4</sub>»**

Выполнил: Сарапкин Александр Юрьевич

Ученик 11 «Б» класса

Научный руководитель:

аспирант 3 года ИББМ, ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Шишкин Андрей Юрьевич

Учитель биологии:

Суролина Ирина Владимировна

г. Нижний Новгород

2022

## Содержание

Введение .....	3
Глава 1. Обзор литературы .....	5
1.1. Микроскопические грибы – агенты биоповреждений промышленных материалов.....	5
1.2. Микрочастицы оксидов металлов и области их применения .....	6
1.3. Механизм биоцидного действия микрочастиц оксидов металлов .....	7
1.3.1. Механизм действия в условиях темноты .....	7
1.3.2. Механизм действия на свету (антимикробный эффект частиц в результате фотокализа).....	9
1.4. Влияние различных факторов на степень токсичности микрочастиц .....	10
Глава 2. Практическая часть.....	12
2.1 Материалы и методы.....	12
2.1.1. Объект исследования – сложный оксид CsTeMoO <sub>4</sub> .....	12
2.1.2. Приготовление питательных сред .....	12
2.1.3. Культивирование грибов на скошенном агаре и на чашках Петри.....	12
2.1.4. Приготовление суспензии спор грибов.....	13
2.1.5. Подсчет спор в счетной камере Горяева .....	13
2.2. Схема эксперимента.....	15
2.3. Правовые нормы исследования .....	15
Глава 3. Результаты и обсуждение.....	16
Заключение.....	17
Список литературы .....	18

## Введение

Микроскопические грибы повсеместно распространены на нашей планете. Человек научился использовать эти грибы в хозяйстве, но существуют микроскопические грибы вредители, для которых необходим поиск путей подавления их роста и развития.

Например, грибы являются активными биодеструкторами промышленных материалов синтетического (полиакрилаты) и природного происхождения (лигнин в древесине, белок в шёлке и др.). Традиционно для защиты промышленных материалов и изделий из них (красок, лаков, полимеров и т.д) применяются дезинфицирующие агенты органического происхождения (например, гетероциклические азотные соединения - метилизотиазолинон и др.), при использовании которых необходимо постоянно увеличивать время воздействия и/или их концентрации, что приводит к проявлению токсичных свойств этих соединений не только для микроорганизмов.

В последнее время в литературных источниках все чаще упоминаются оксиды тяжелых металлов (таких как  $ZnO$ ,  $TiO_2$ ,  $WO_3$  и др.), которые в форме нано- и микрочастиц способны проявлять антимикробные свойства. Материалы, содержащие микрочастицы металлов в своем составе или на поверхности, менее подвержены биологическим повреждениям и относительно безопасны для многоклеточных организмов (в частности для растений, животных и человека).

На данный момент нано- и микрочастицы оксидов тяжелых металлов применяются во многих отраслях (медицине, промышленности, индустрии безопасности и так далее) и вводят в состав различных материалов в качестве дезинфицирующих или токсических компонентов для придания биостойких свойств.

Заинтересованность оксидами металлов еще связана с тем, что они обладают фотокаталитической активностью, которая способна усиливать антимикробный эффект за счет образования на свету активных форм кислорода (АФК). Это позволяет найти применение соединениям еще в одной области:

очистка техногенных загрязнений и отходов производства при помощи окисления органических загрязнителей.

В ходе дальнейшего изучения выяснилось, что токсическое или биоцидное действие фотокаталитически активных микрочастиц оксидов тяжелых металлов зависят от ряда факторов: размера частиц, концентрации, морфологии, модификации поверхности и биологического объекта, на который оно направленно.

На Химическом факультете ННГУ им. Н.И. Лобачевского создан сложный оксид тяжелых металлов  $CsTeMoO_6$  который в состоянии микрочастиц обладает фотокаталитической активностью. Его антимикробное действие на микроорганизмы не исследовалось.

**Цель:**

Исследовать антигрибковую активность сложного оксида металлов  $CsTeMoO_6$ .

**Задачи:**

- 1) Подготовить литературный обзор по исследуемой теме.
- 2) Ознакомится с методами:
  - Культивирования грибов на питательных средах.
  - Приготовление суспензии спор грибов с заданным титром.
- 3) Исследовать противогрибковое действие оксида на выживаемость спор *Aspergillus niger*.

## **Глава 1. Обзор литературы**

### **1.1. Микроскопические грибы – агенты биоповреждений промышленных материалов**

Роль грибов в природе и в хозяйстве человека трудно переоценить. Грибы присутствуют во всех экологических нишах — в воде и на суше, в почве и на всевозможных иных субстратах, и внутри других живых организмов. Некоторые виды грибов встречаются на международной космической станции, под ее обшивкой и во внутренних помещениях, другие живут в контурах водяного охлаждения на атомных электростанциях и в зоне техногенных катастроф (АЭС Чернобыль, Фукусима и т.д.). Развитый метаболизм, мощная и лабильная ферментативная и антиоксидантная система позволяют грибам приспособливаться и выживать в самых различных суровых и резкоизменяющихся условиях окружающей среды. Являясь редуцентами, они играют важную роль в экологии всей биосферы, разлагая всевозможные органические субстраты: мертвые растительные (целлюлоза и лигнин) и животные останки (кожу, шерсть и т.д.) и, тем самым, способствуют образованию плодородных слоев почвы. Помимо ферментов, грибы выделяют в среду роста органические и неорганические кислоты, щелочи, активные формы кислорода и др.

Существует также группа микроскопических грибов, которая способна вызывать биоповреждения промышленных природных (шелк, шерсть и др.) и синтетических полимерных материалов: полиамиды (синтетическая ткань), полиакрилаты (лаки и краски) и др..

Большую роль при заселении материалов грибами играет способность их спор адсорбироваться на гладкой поверхности. Адгезия является первым этапом биоповреждений твердых нерастворимых субстратов. Закрепившись на поверхности материалов, при благоприятных условиях споры прорастают, образуя мицелий. Мицелиальное строение грибов является одной из наиболее важных биологических особенностей, определяющих специфику их взаимоотношения со средой. Мицелий быстро распространяется по субстрату и

захватывает большие площади. Доминирующая роль грибов среди микроорганизмов в процессах биоповреждений обусловлена их метаболическими особенностями, которые заключаются в очень богатом ферментативном аппарате.

Грибы, разрушая полимерные материалы и изделия, вызывают изменение механических (прочностных) свойств и сокращают время их эксплуатации, нанося огромный экономический ущерб.

## **1.2. Микрочастицы оксидов металлов и области их применения**

Согласно номенклатуре Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC) микрочастица – это частица размером от  $1 \times 10^{-7}$  до  $10^{-4}$  м. Чтобы соответствовать префиксу «микро» и диапазону, указанному в определении, размеры микрочастиц выражают в мкм (иными словами, от 0,1 мкм до 100 мкм) (Vert, Doi, Hellwich et al., 2012). При таком размере частиц физико-химические свойства существенно изменяются или же приобретаются новые уникальные качества (Зиганшин, Зиганшина, 2008) (GrunwaldA., 2010).

В связи с темой планируемого исследования в данном обзоре в основном рассматриваются неорганические микрочастицы, в частности микроразмерные частицы оксидов тяжелых металлов.

Частицы применяются во многих сферах: от лакокрасочной до пищевой промышленности. Порошки аморфного диоксида кремния (НАДК) применяются в промышленности: в изготовлении теплоизоляторов, оптоэлектроники, стабилизаторов эмульсий и термостойких красок, лаков, клеев, огнестойкой и износостойкой древесины. Коллоидное наносеребро используется как катализатор химических реакций, компонент для антимикробной стерилизации (производство различных средств упаковки, перевязки и водоэмульсионных красок, и эмалей) и биологически активных добавок с антибактериальным, противовирусным и противогрибковым действием.

Модифицированные покрытия и материалы могут быть использованы в качестве профилактических антимикробных средств защиты в местах, где

возрастает опасность распространения инфекции (Стенина, Чеснокова, 2014). Частицы добавляют к моющим средствам, зубным пастам, влажным салфеткам, наносят на поверхности кондиционеров, покрывают столовые приборы, дверные ручки, клавиатуры и «мышки» для компьютеров (Гусев, Рампель, 2001). Возможны улучшение и изменение свойств текстильных материалов, чаще за счет нанесения на поверхность текстиля различных покрытий (производство спортивной одежды и экипировки, термобелья, текстиля медицинского назначения) (Стенина, Чеснокова, 2014) (Букина, Сергеева, 2013).

### 1.3. Механизм биоцидного действия микрочастиц оксидов металлов

#### 1.3.1. Механизм действия в условиях темноты

Частицы оксидов тяжелых металлов могут оказывать антимикробный эффект и вызывать повреждения микроорганизмов и без воздействия света.

Они могут взаимодействовать с поверхностью клеток и/или с ядром при проникновении внутрь клетки. Между отрицательно заряженными мембранами бактерий и положительно заряженными частицами ZnO возникает электромагнитное притяжение. Частицы ZnO взаимодействуют с мембранными липидами и тиоловыми группами (–SH) белков, которые также важны трансмембранного и внутриклеточного транспорта (рис. 3).

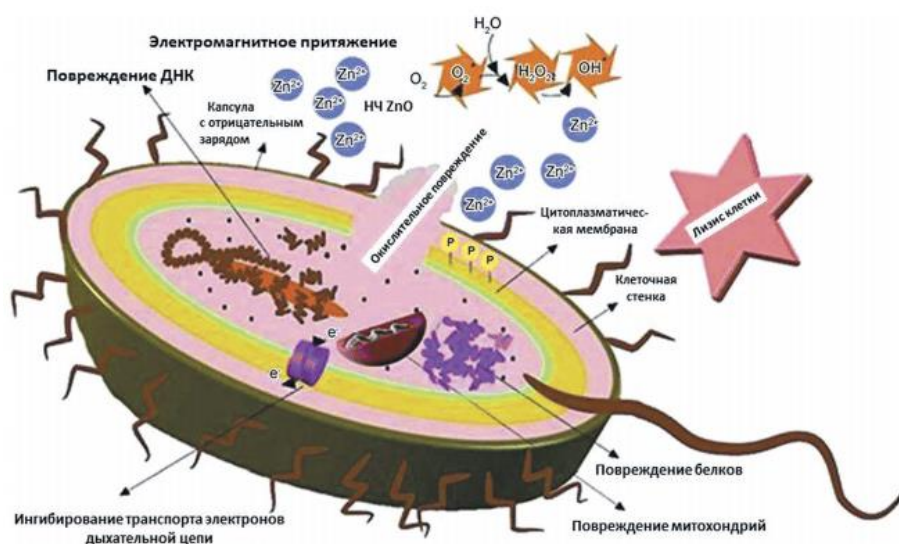


Рис. 1. Механизм антимикробного действия частиц ZnO на примере *Salmonella typhi* (Meraat, Ziabari, Issazadeh et al., 2016)

Частицы ZnO могут проникать внутрь бактериальной клетки и инактивировать ДНК и их ферменты. Частицы ингибируют уровень аденозинтрифосфата (АТФ) и вызывают уменьшение количества копий гена бактериальной 16S рДНК. Происходят нарушение митохондриальной функции, утечка лактатдегидрогеназы и изменение морфологии клетки под действием частиц (рис. 1).

Частицы деформируют структуру роста гриба: заметное истончение и сгущение волокон гиф, разжижение цитоплазматического содержимого, снижение его электронной плотности с наличием ряда вакуолей и значительным отрывом клеточной стенки (рис. 2, 3) (Захарова, Гусев, 2019).

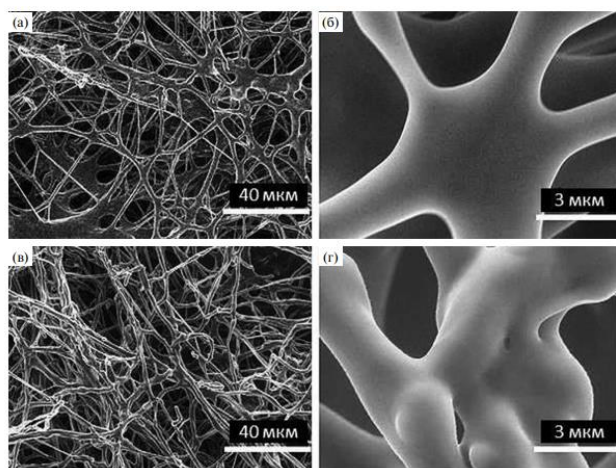


Рис. 2. СЭМ-изображения *Botrytis cinerea*: контроль (а, б), после обработки ZnO (в, г) (He, Liu, Mustapha et al., 2011)

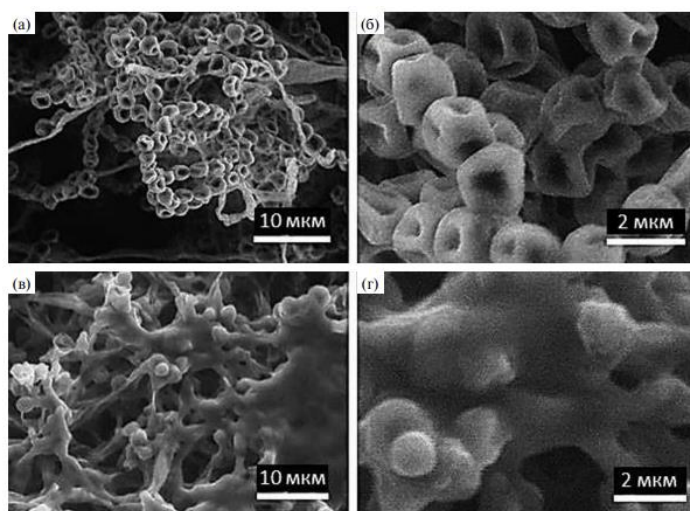


Рис. 3. СЭМ-изображения *Penicillium expansum*: контроль (а, б), после обработки ZnO (в, г) (He, Liu, Mustapha et al., 2011)



### 1.3.2. Механизм действия на свету (антимикробный эффект частиц в результате фотокализа)

Образование активных форм кислорода (АФК) – главнейший механизм взаимодействия частиц с микроорганизмами, в наибольшей степени определяющий фотокаталитическую активность (рис. 4).

ZnO обладает высокой фотокаталитической эффективностью за счет способности активно поглощать УФ-излучение из-за наличия области обеднения электронами (кислородные вакансии увеличивают генерацию активных форм кислорода) (Захарова, Гусев, 2019).

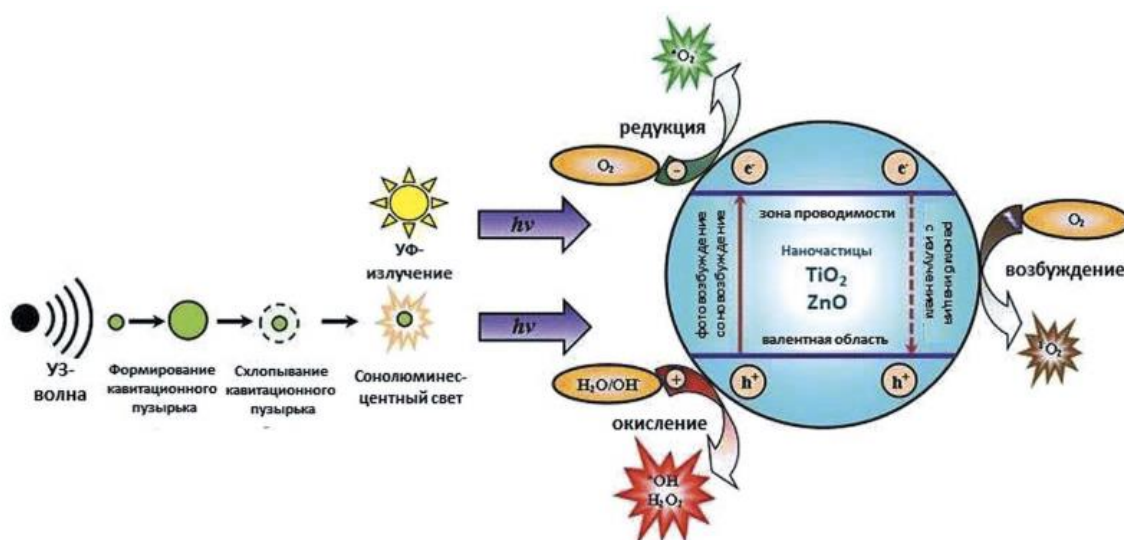


Рис. 4. Механизмы генерации активных форм кислорода (Bogdan, Pławińska-Czarnak, Zarzyńska, 2017)

Кислород  $O_2$  обладает высокой реакционной способностью за счет поэтапного использования окислительной способности через ступенчатое восстановление за счет наличия спинового запрета. Степень активности кислорода контролирует интенсивность его участия в различных путях метаболизма. Когда кислород переходит в триплетное состояние, в процессы включаются различные по своей химической структуре АФК: молекулы ( $H_2O_2$ ), свободные радикалы ( $OH^\bullet$ ,  $OH_2^\bullet$ ), ион-радикалы ( $O_2^{\bullet-}$ ), синглетный кислород ( $^1O_2$ ), окисленные галогены или гипогалоиды ( $HOCl$ ,  $HOBr$ ,  $HOI$ ), пероксильный ( $RO_2^\bullet$ ) и алкосильный ( $RO^\bullet$ ) радикалы, оксид азота ( $NO^\bullet$ ),

пероксинитрит ( $\text{ONOO}^-$ ). С химической точки зрения образование АФК происходит в результате постепенного восстановления кислорода:

В физиологических концентрациях АФК участвуют в работе регуляторных систем клеток. При интенсивной же генерации АФК начинают проявлять свою реакционно способность, связанную с разрушением клеточных структур и токсической окислительной деструкций биомолекул – белков, липидов, углеводов и нуклеиновых кислот (Дубинина, 2006).

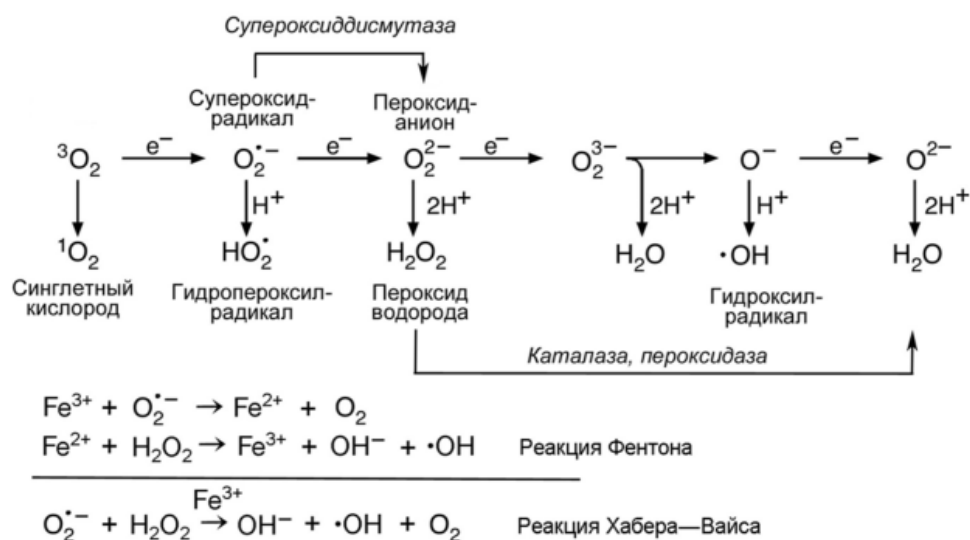


Рис. 5. Взаимопревращения АФК (Шарова, 2016)

Относительная устойчивость грибов к фотокаталитическому окислению, выявленная в ходе исследований, может быть связана с защитным действием полисахаридов, ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы и других) в клеточной стенке, а низкая эффективность этих механизмов относительно бактерий может быть связана с повышенной устойчивостью бактерий к средствам широкого спектра воздействия (Захарова, Гусев, 2019).

#### 1.4. Влияние различных факторов на степень токсичности микрочастиц

Свойства частиц зависят от размера, формы и отношение площади поверхности к объему (чем больше, тем значительней влияние) (Букина, Сергеева, 2012). На токсичность частиц оксида цинка ( $\text{ZnO}$ ) для организма влияют концентрация и размер частиц, интенсивность освещения, а также видовые особенности самого организма. Антибактериальная активность возрастает с увеличением концентрации частиц.

Теоретически более мелкие частицы должны быть более токсичными, но экспериментально влияние размера на цитотоксичность приводит к переменным результатам: в одной работе значительный эффект отсутствовал (Yamamoto, 2003), наблюдалось увеличение токсичности с уменьшением размера частиц – в другой (Sawai, 1996).

Размер частиц в условиях эксперимента может изменяться, что не позволяет оценивать токсичность, поэтому нужно учитывать фактический истинный размер.

Соединение оксида цинка (ZnO) светочувствительно; наличие света – существенный фактор из-за его роли в стимулировании образования активных форм кислорода (АФК). Увеличение интенсивности освещения усиливает антибактериальный эффект, но в зависимости от вида организма степень токсичности различна при тех или иных условиях.

Ингибирование роста бактерий наблюдалось и в темных условиях, но в меньшей степени. Прослеживается зависимость от дополнительных внешних факторов, химии поверхности, морфологии частиц, концентрации бактерий и типа частиц (AdamsDelina, LyonPedro, Alvarez, 2006).

При увеличении интенсивности освещения фотохромных частиц оксида вольфрама ( $WO_3$ ) значительно увеличивается их токсичность в отношении бактериальных клеток и клеток млекопитающих, а грибы обладают меньшей чувствительностью. Также была выявлена зависимость степени токсического эффекта от времени и дозы излучения (Popov, Zholobak, Balko et al., 2018).

## Глава 2. Практическая часть

### 2.1 Материалы и методы

#### 2.1.1. Объект исследования – сложный оксид CsTeMoO<sub>4</sub>

Средний размер частиц порошка CsTeMoO<sub>6</sub> – 670 нм, при этом максимум распределения частиц по размерам приходится на 300 нм т.е. другими словами больше всего частиц по количеству размером 300 нм. Данное химическое соединение поглощает свет в синем спектре (Fukina et al., 2022).

В качестве тест культуры микроорганизма использовали гриб *Aspergillus niger* van Tieghen ВКМФ-1119. *A. niger* является мицелиальным грибом который повсеместно встречается в окружающей среде, в почве, на стенах в жилых и промышленных помещениях. Колонии *A. niger* быстро растут и их легко культивировать в лабораторных условиях.

Антигрибковая активность оценивалась по выживаемости спор гриба *A. niger*.

#### 2.1.2. Приготовление питательных сред

Готовили полную питательную среду Чапека-Докса. Компоненты среды (в граммах на 0,5 литров воды): NaNO<sub>3</sub> – 1,0; KCl – 0,25; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 0,25; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0,15; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 0,005; сахароза – 15,0, агар – 10,0. Взвешивали на аналитических весах Vibra AF-220E. Среду стерилизовали в автоклаве (стерилизатор паровой ВК-75-01) при 1 атм. – 60 минут. Затем добавляли сахарозу и стерилизовали при 0,5 атм. – 30 минут (Билай и др., 1982). Разлив среды для приготовления косяков проводился в стерильных микробиологических боксах. Остывшую до 50–60 °С среду заливали в пробирки для получения косяков на 1/3 их объема. Дожидались застывания среды.

Для приготовления жидкой полной питательной среды Чапека-Докса использовали те же компоненты в тех же количествах без добавления агара.

#### 2.1.3. Культивирование грибов на скошенном агаре и на чашках Петри

Пересев грибов на скошенный агар проводился согласно методическому пособию (Каменская Е.П., 2008). В правую руку брали две пробирки: одну с косяком для пересева, другую с косяком с новой питательной средой. Двумя

пальцами левой руки одновременно открывали обе пробки. Далее вносили горлышки пробирок в пламя горелки, обжигали пробки. Затем прокачивали микробиологическую петлю, остужали ее о чистую питательную среду. Помещали петлю в пробирку с косяком для посева, набирали на петлю грибных спор. Переносили петлю в пробирку с новой питательной средой и, начиная с дистального конца пробирки, зигзагообразными движениями проводили петлей по питательной среде. Обжигали микробиологическую петлю в пламени горелки, обжигали горлышки пробирок и пробки, закрывали обе пробирки. Культивирование проводили в термостате при  $t^{\circ}=28\pm 2$  °C и влажности воздуха 90% в течение 7 суток. На скошенном агаре происходит хранение спороносящего мицелия гриба.

#### **2.1.4. Приготовление суспензии спор грибов**

Для приготовления суспензии спор грибов с конечным титром  $1-2\cdot 10^6$  спор в 1 мл, 5 мл дистиллированной воды вносили в несколько пробирок, которые закрывались микробиологическими пробками. Пробирки автоклавировались при температуре в течение 60 мин. В стерильном боксе, микробиологической петлей с 7 суточного «косяка» отбирались споры грибов и помещались в пробирку (пробирка №1).

#### **2.1.5. Подсчет спор в счетной камере Горяева**

Методы прямого подсчета дают возможность наиболее полно учесть численность микроорганизмов. Их эффективность гораздо выше, чем метода посева на питательные среды, так как многие микроорганизмы требовательны к условиям культивирования и качеству питательной среды. Кроме того, методы прямого подсчета дают возможность получить дополнительную информацию о размерах и морфологии исследуемых клеток.

Наиболее распространенным методом определения общего числа клеток в 1 мл суспензии является их подсчет под микроскопом с использованием счетной камеры.

Счетная камера Горяева представляет собой специальное предметное стекло с нанесенными на него поперечными прорезями, образующими три

поперечно расположенные плоские площадки. Средняя площадка продольной прорезью разделена еще на две площадки, каждая из которых имеет выгравированную на ней сетку с квадратами определенной площади. По обе стороны средней площадки в камере Горяева расположены две других на 0,1 мм выше средней. Плоскости этих площадок служат для притирания покровного стекла до появления так называемых Ньютоновских колец.



Рис. 6. Счетная камера Горяева

После притирания покровного стекла создавалась камера, закрытая с двух боковых сторон, а с двух других имеющая капиллярные пространства, через которые с помощью пастеровской пипетки камеру заполняли разведением взвеси микроорганизма.

Подсчет клеток проводили под микроскопом, который настраивали таким образом, чтобы была видна нанесенная на камеру сетка и клетки микроорганизма, равномерно распределенные на ней. Считали число клеток в 5 горизонтальных и 15 диагональных больших квадратах, после чего определяли число клеток (x) в 1мл исследуемой взвеси по формуле:

$$N = a/20 * N * b = (a * 225 * 1111)/20 * b = a * 12499 * b, \text{ где}$$

a – число клеток в 20 квадратах;

N = 225 – число больших квадратов в камере Горяева;

k = 1111 – коэффициент, равный величине, обратной объему камеры.

## 2.2. Схема эксперимента

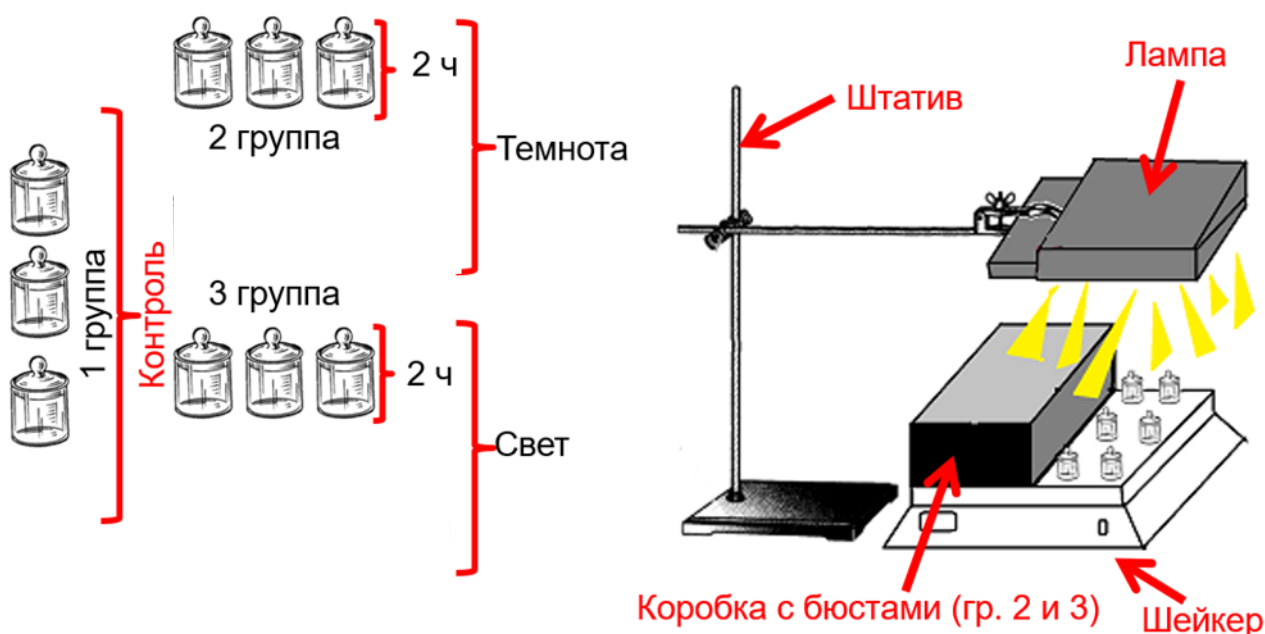


Рис. 7 Исследование антигрибковой активности сложного оксида тяжелых металлов  $\text{CsTeMoO}_6$

Готовые суспензии спор объемом 10 мл с количеством спор в каждой 1 млн шт помещали в стеклянные бюксы. 1 группа контрольная (без  $\text{CsTeMoO}_6$ ); 2 и 3 группы содержали 20 мг  $\text{CsTeMoO}_6$ . Затем бюксы помещали на перемешивающее устройство 2 группу в темноту, 3 группу бюксов на свет под лампу мощностью 50 Вт. Время экспозиции 60 и 120 минут.

## 2.3. Правовые нормы исследования

Исследование проводилось на базе лабораторий ННГУ им. Лобачевского. В работе использовались готовые реактивы и все необходимые средства индивидуальной защиты (лабораторные халаты, респираторы, перчатки, дезинфицирующие моющие средства для рук и т.д.).

### Глава 3. Результаты и обсуждение

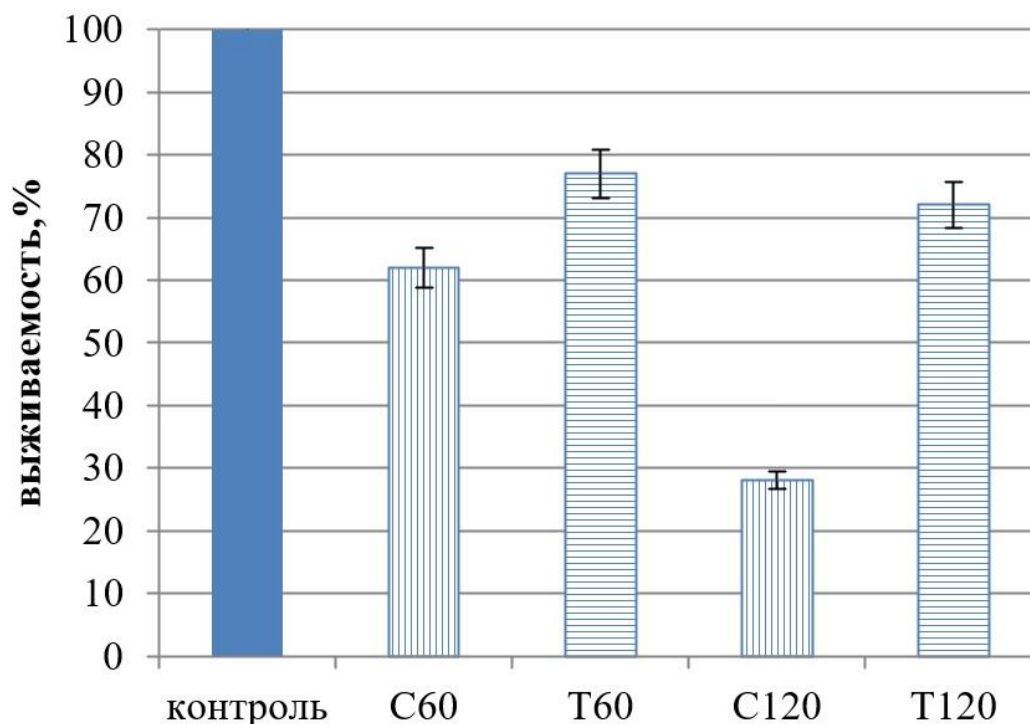


Рис. 8 Антигрибковая активность  $CsTeMoO_6$  в условиях темноты и освещенности 50 Вт

Результаты исследования показали, что снижение выживаемости спор гриба *A.niger* присутствии  $CsTeMoO_6$  в темноте. Частицы деформировали структуру роста гриба: истончили и сгустили волокна гиф и уменьшили количество, выживаемости спор.

Результаты исследования показали что снижение выживаемости спор гриба *A.niger* присутствии  $CsTeMoO_6$  на свету и были связаны с физиологической концентрациях АФК участвующей в работе регуляторных систем клеток. При интенсивной же генерации АФК начинают проявлять свою реакционную способность, связанную с разрушением клеточных структур и токсической окислительной деструкций биомолекул – белков, липидов, углеводов и нуклеиновых кислот. В присутствии света этот эффект был бол сильнее. Тем самым уменьшая количество спор.



## Заключение

Результаты исследования показали, что сложный оксид металлов CsTeMoO<sub>6</sub> снижает выживаемость спор гриба *Aspergillus niger* т.е. проявляет антигрибковую активность. Действие источника света мощностью 50 Вт усиливало противогрибковую активность исследуемого соединения, причем эффект усиливался на 2 час экспозиции. Согласно литературному обзору на антимикробную активность оксидов металлов влияет множество факторов: размер и форма частиц, элементный состав, мощность источника излучения и его спектральный состав и др. В связи с этим данное исследование может стать основой для выпускной квалификационной работы бакалавра.

Таким образом CsTeMoO<sub>6</sub> может найти применение в качестве противогрибкового средства для создания самостерилизующихся поверхностей, в качестве антимикробных добавок для защиты красок, лаков и т.д., в очистке техногенных загрязнений и отходов производства при помощи окисления органических загрязнителей, в медицине и ветеринарии и др.. Поэтому данная работа нуждается в дальнейших исследованиях, и она актуальна.

## Список литературы

1. Абаева Л.Ф., Шумский В.И., Петрицкая Е.Н., Рогаткин Д.А., Любченко П.Н. Микрочастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра // Альманах клинической медицины. 2010. №22. – С. 10-16.
2. Билай, В.И. Биологически активные вещества микроскопических грибов и их применение/ В.И. Билай.- Киев: Наукова думка, 1965.- 68 с.;
3. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Получение антибактериальных текстильных материалов на основе микрочастиц серебра посредством модификации поверхности текстиля неравновесной низкотемпературной плазмой //Вестник Казанского технологического университета. 2012, № 7. – С. 125-128.
4. Гусев А.И., Рампель А.А., Нанокристаллические материалы.- М.: Физмалит, 2001. – 224 с.
5. Дубинина Е.Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток (жизнь и смерть, созидание и разрушение). Физиологические и клиничко-биохимические аспекты. – СПб: Медицинская пресса, 2006. 400 с.
6. Захарова О.В., А. А. Гусев. Фотокаталитически активные микрочастицы оксида цинка и диоксида титана в клональном микроразмножении растений: перспективы // Российские нанотехнологии. 2019. Т. 14, №9-10. С.3-17.
7. Зиганшин А.У., Зиганшина Л.Е. Микрочастицы: фармакологические надежды и токсикологические проблемы// Казанский медицинский журнал. 2008. №1. – С. 1-7.
8. Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учеб.пособие. -СПб.: Изд-воС.-Петерб. ун-та. 2016. – 140 с.
9. Adams Delina K., Lyon Pedro Y., Alvarez J.J. Compar. Active ecotoxicity of nanoscale TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, and ZnO water suspensions // Water Research. 2006. V. 40. P. 3527-3532.

10. Bogdan J., Pławińska-Czarnak J., Zarzyńska J. Nanoparticles of Titanium and Zinc Oxides as Novel Agents in Tumor Treatment: a Review // *Nanoscale Research Letters*. 2017. V. 12. P. 225.
11. Grunwald A. Nanoparticles and Principle of Precaution // *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2010. V. 6. P. 54-69.
12. Laura K. Adams, Delina Y. Lyon, Pedro J.J. Alvarez. Comparative ecotoxicity of nanoscale TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, and ZnO water suspensions. Elsevier. 2006. V. 40. P. 3527-3532.
13. Meraat R., Ziabari A.A., Issazadeh Kh. et al. Synthesis and Characterization of the Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles against *Salmonella typhi* // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. 2016. V. 29. № 7. P. 601.
14. Popov A.L., Zholobak N.M., Balko O.I., Balko O.B., Shcherbakov A.B., Popova N.R., Ivanova O.S., Baranchikov A.E., Ivanov V.K. Photo-induced toxicity of tungsten oxide photochromic nanoparticles // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2018. V. 178. P.395-403.
15. Uboldi Ch., Urbán P., Gilliland D. et al. Role of the crystalline form of titanium dioxide nanoparticles: Rutile, and not anatase, induces toxic effects in Balb/3T3 mouse fibroblasts // *Toxicology in Vitro*. 2016. V. 31. P. 137.
16. Vert M., Doi Y., Hellwich K.H., Hess M., Hodge P., Kubisa P., Rinaudo M., Schué F. Terminology for bio related polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012) // *Pure and Applied Chemistry*. 84 (2): 377–410. 2012.
17. Xia J., Diao K., Zheng Zh. et al. Porous Au/ZnO nanoparticles synthesised through a metal organic framework (MOF) route for enhanced acetone gas-sensing. *RSC Advances*. 2017. V. 7. P. 38444.
18. D.G. Fukina, A.V. Koryagin, A.V. Koroleva, E.V. Zhizhin, E.V. Suleimanov, N.S. Volkova, N.I. Kirillova, The role of surface and electronic structure features of the CsTeMoO<sub>6</sub> β-pyrochlore compound during the photooxidation dyes process, *J. Solid State Chem*, 308 (2022) 122939.