

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Биологический факультет
Кафедра микологии и альгологии

Влияние неорганических наночастиц на рост и метаболизм микроводорослей из отдела Chlorophyta

Работу выполнила студентка 3 курса:

Фролова М. А.

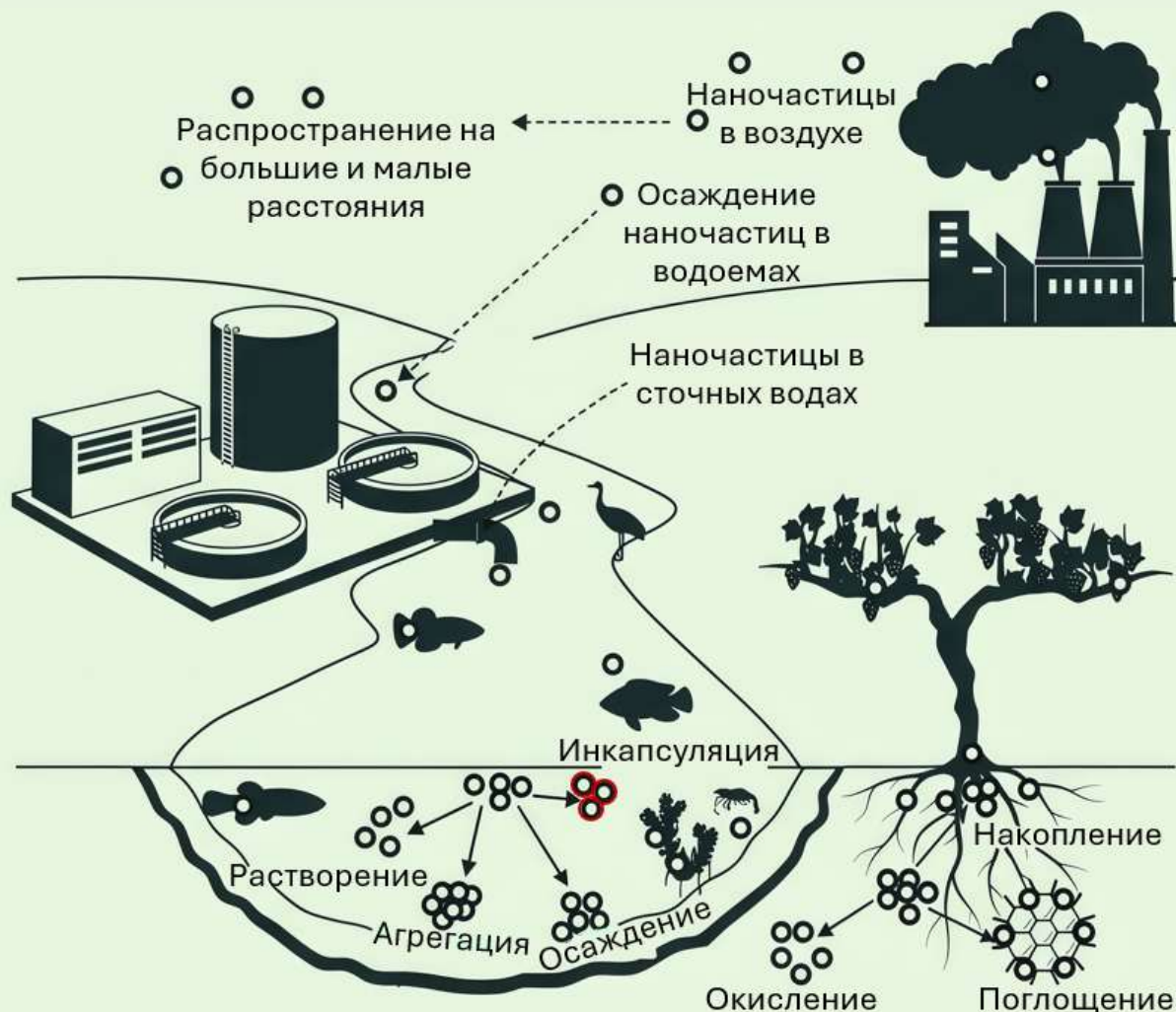
Научные руководители:

д.б.н. Мальцев Е. И.

к.б.н. Гололобова М. А.

Москва, 2026

Актуальность проблемы



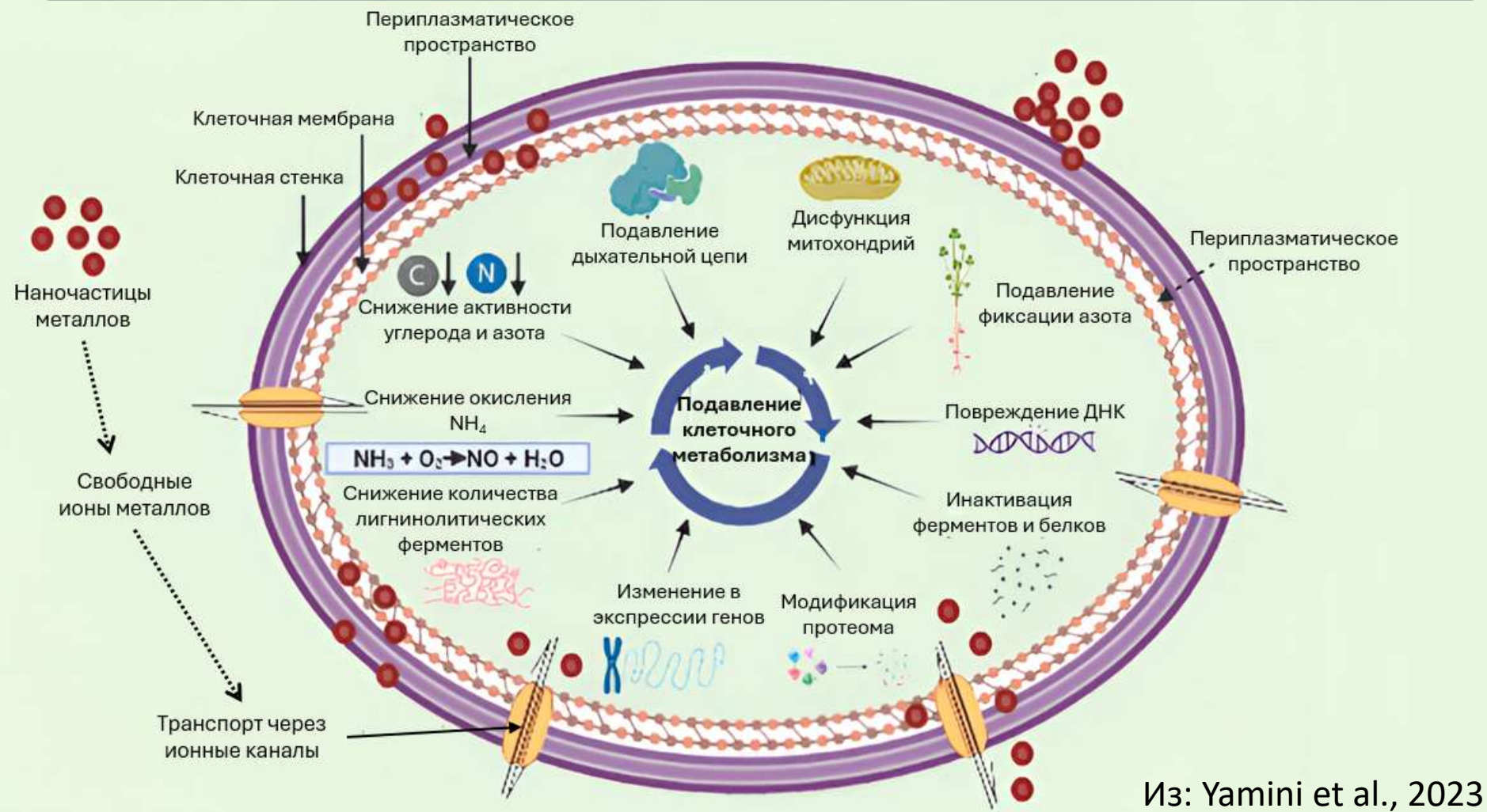
Глобальное распространение:
Наночастицы (НЧ) массово применяются в промышленности и неизбежно попадают в окружающую среду

Первичная мишень:
Водоросли – первичное звено в трофической цепи и первыми сталкиваются с поллютантами

Актуальность проблемы

Идеальная модель:

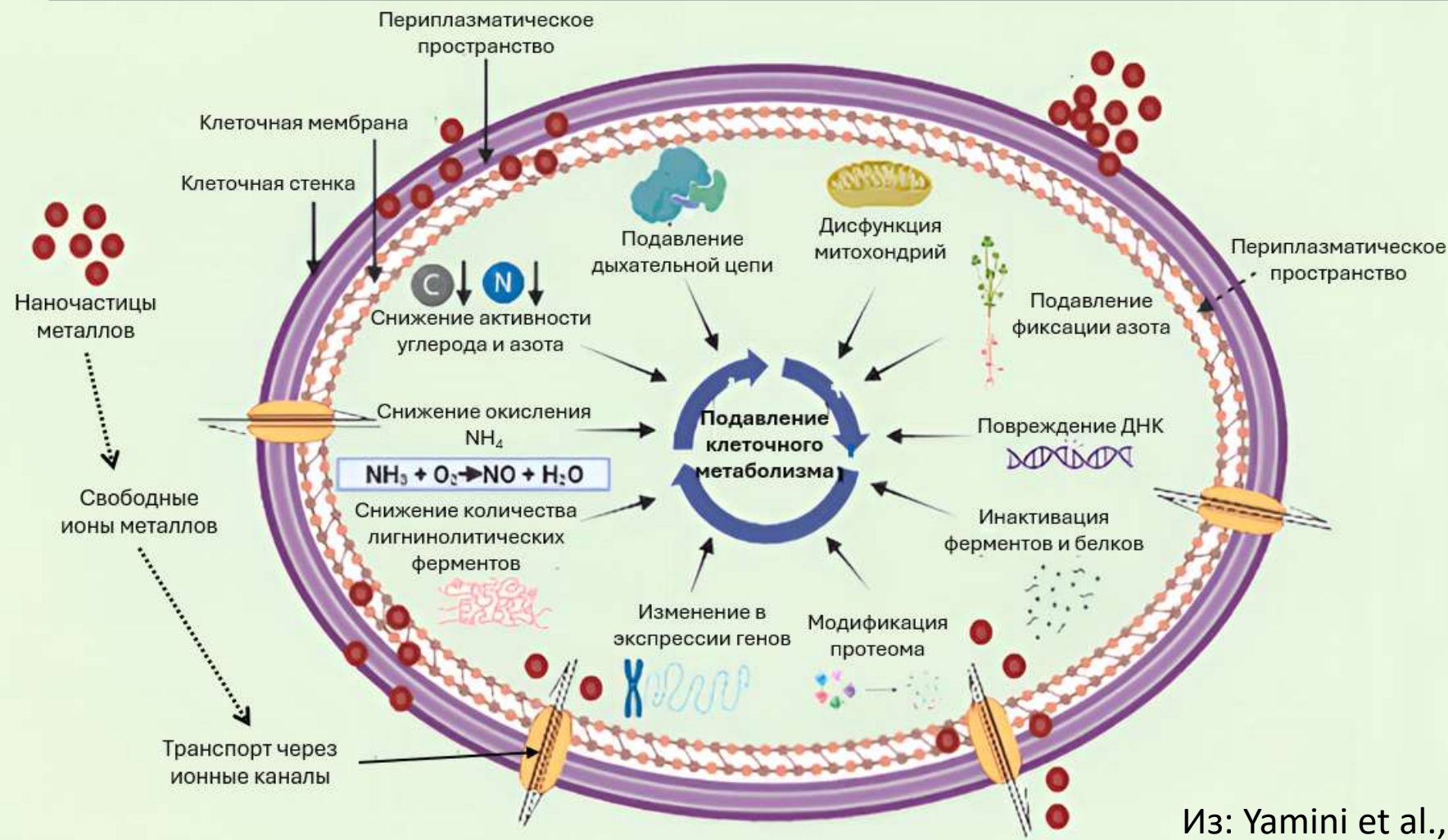
Зеленые водоросли (Chlorophyta) оптимальные объекты для экотоксикологических тестов и изучения клеточного ответа



Актуальность проблемы

Биотехнологический потенциал:

С помощью стресс-индуцирующего воздействия НЧ можно стимулировать синтез ценных биологических веществ



Цель и задачи исследования

Цель: написать обзор по изучению влияния наночастиц золота и оксида титана на рост и метаболизм микроводорослей отдела Chlorophyta.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи:**

- 1** На основе анализа литературы привести краткую характеристику наночастиц металлов и описать области их применения.
- 2** Найти и изучить работы, связанные с влиянием наночастиц золота и оксида титана на рост и метаболизм представителей отдела зеленых водорослей.
- 3** Проанализировать прочитанные работы и сделать выводы о перспективах использования наночастиц этих двух металлов в биотехнологии.

Наночастицы металлов и их применение

Определение:

Наноструктуры размером от 1 до 100 нм

Главная особенность: чрезвычайно высокая удельная площадь поверхности по отношению к объему, что приводит к возрастанию химической и каталитической активности

Классификация наночастиц



Из: Eker et al., 2024

Объекты данного обзора – неорганические НЧ

Определение:

Наноструктуры размером от 1 до 100 нм

Главная особенность: чрезвычайно высокая удельная площадь поверхности по отношению к объему, что приводит к возрастанию химической и каталитической активности



Точнее – НЧ золота (Au) и оксида титана (TiO₂)

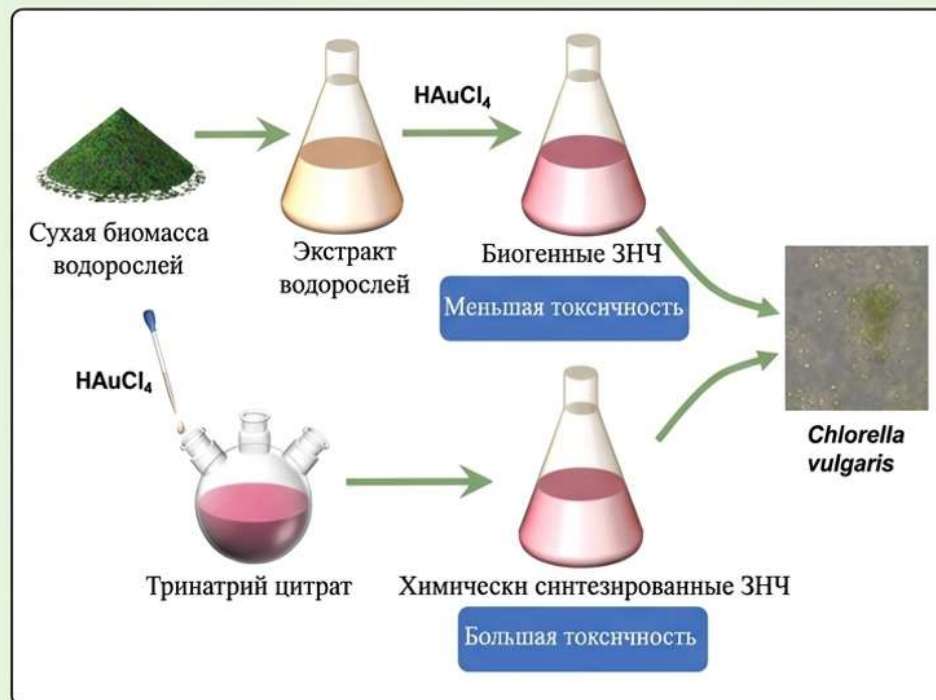
Область применения и биогенный синтез

Широкое применение

Например, в медицине (доставка лекарств), косметике (в составе солнцезащитных кремов) и электронике (токопроводящие пасты)

“Зеленый” синтез

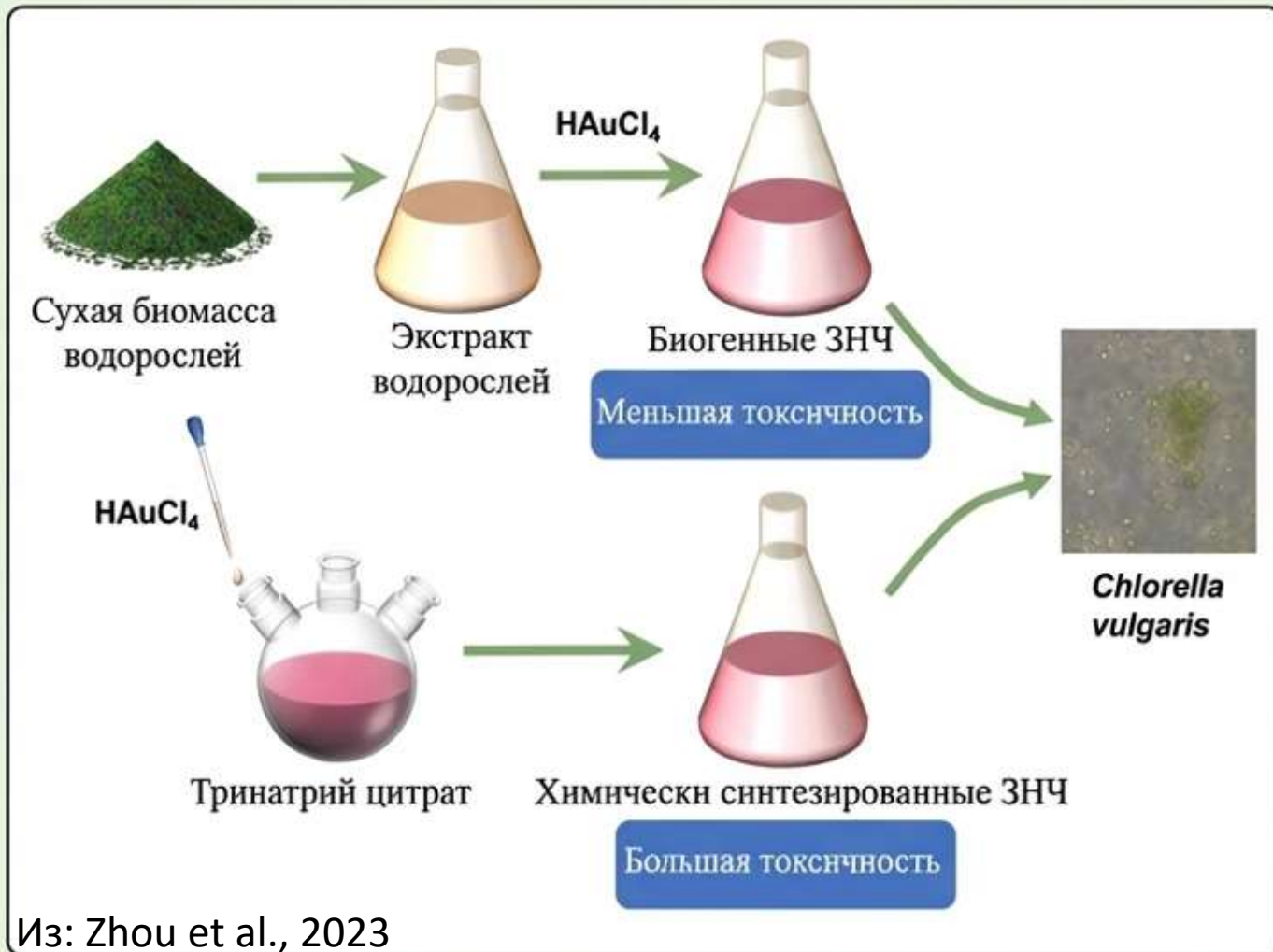
Водоросли в качестве “нано-био-заводов”



“Зеленый” синтез: водоросли в качестве “нано-био-заводов”

Белки и пигменты – естественные восстановители и стабилизаторы

Итоговые НЧ менее токсичны по сравнению с химически синтезированными аналогами





Наночастицы золота (Au)

AuNP

Уникальные свойства и применения ЗНЧ

Физико-химические особенности:

Плазмонный резонанс (LSPR) – коллективное колебание электронов в ответ на свет

Гиперреактивность – высокая химическая активность благодаря чрезвычайно высокому отношению площади поверхности к объему

Сниженная температура плавления (относительно объемного металла)

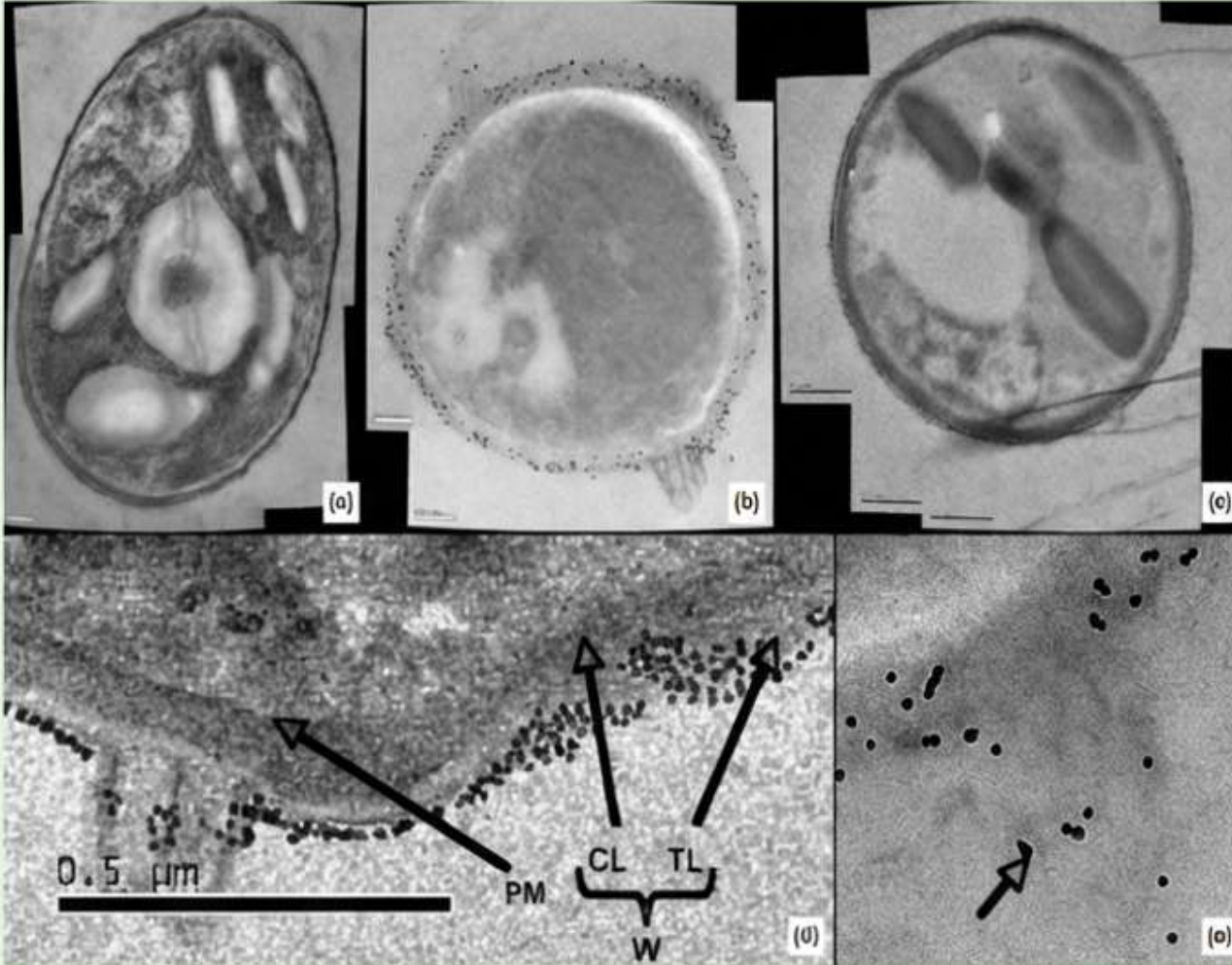
Ключевые сферы применения:

Медицина
Доставка лекарств
Терапия рака

Промышленность
Пасты для
микросхем

Биотехнологии
«Нанопрайминг»
семян

Взаимодействие с водорослями: отрицательное влияние



Угнетение роста

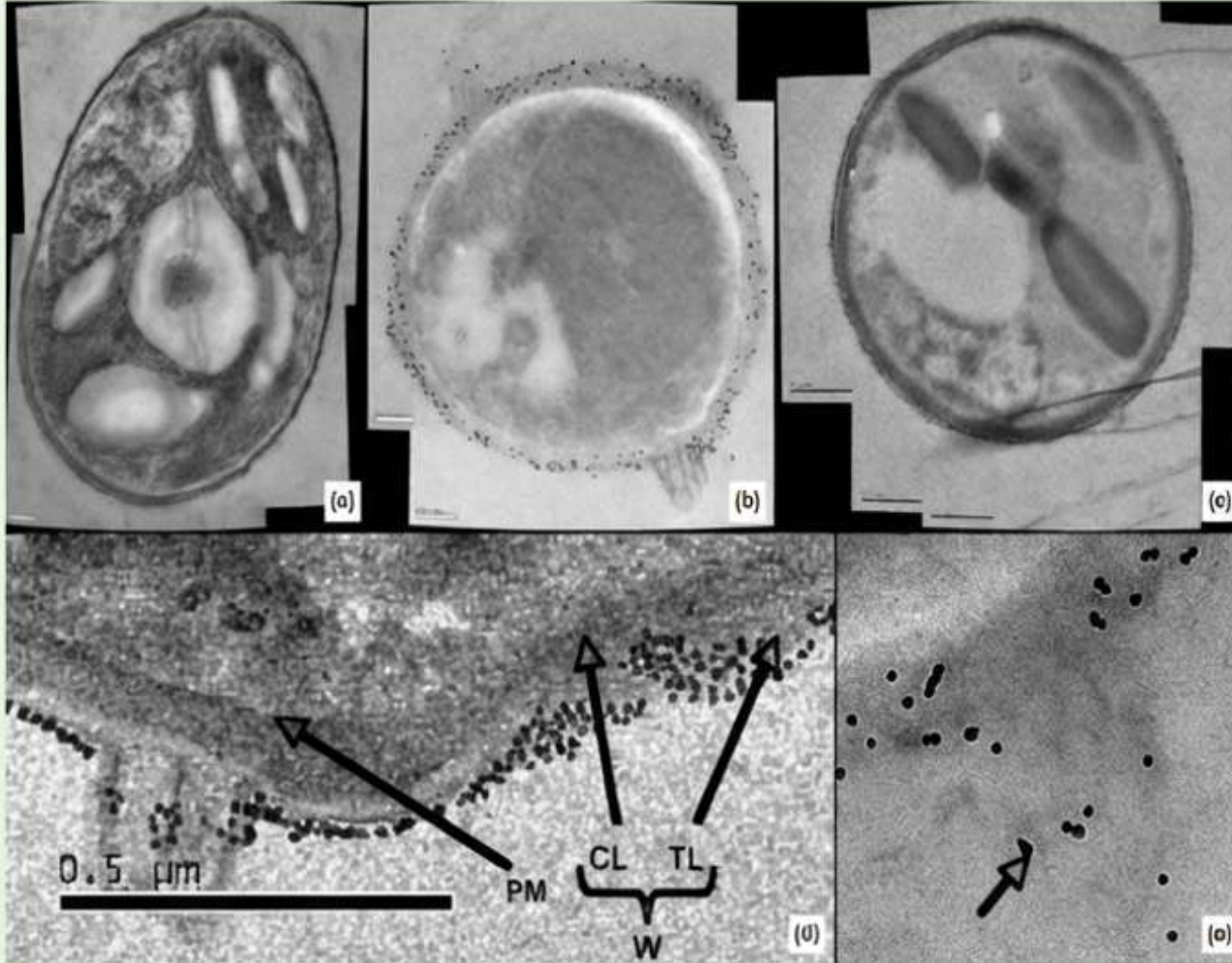
Морфологические
изменение

Нарушение
фотосинтеза

Повреждение ДНК

Ультратонкие срезы клеток *Scenedesmus subspicatus*, ТЭМ (из: Renault et al., 2008)

Взаимодействие с водорослями: отрицательное влияние



а: контроль;
в и е: 1.6×10^4 ЗНЧ/
клетка;
с и д: 1.6×10^5 ЗНЧ/
клетка;
СЛ: целлюлозный
слой,
РМ: плазматическая
мембрана,
ТЛ: многослойная
структура и
W: клеточная стенка;
е: стрелка показывает
на НЧ золота
размером 17 нм

Ультратонкие срезы клеток *S. subspicatus*, ТЭМ
(из: Renault et al., 2008)

Взаимодействие с водорослями: положительное влияние

**Стимуляция роста
(эффект гормезиса)**

Например: стимуляция
деления клеток

Накопление пигментов

Например: хлорофилла и
каротиноидов

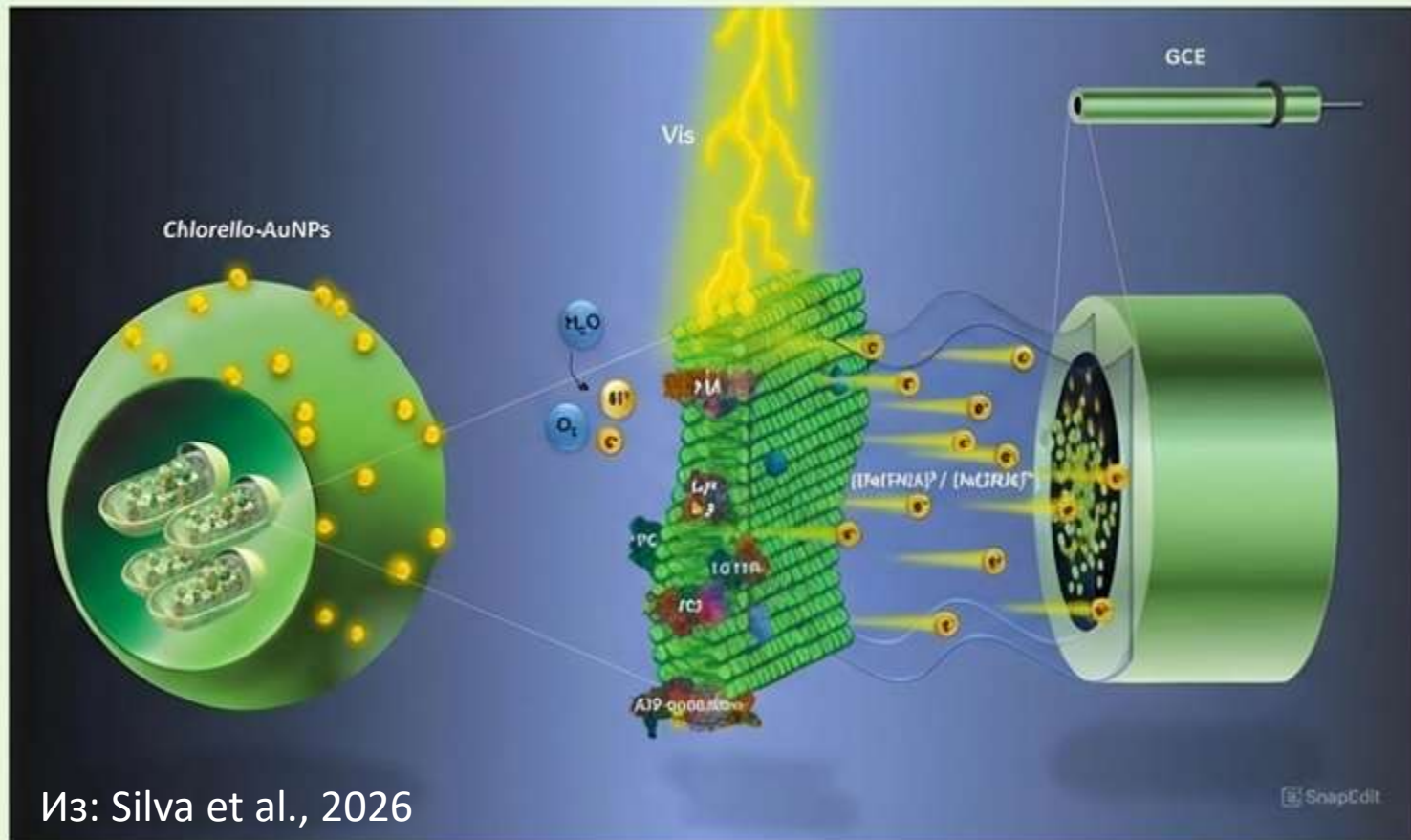
**Повышение интенсивности
фотосинтеза**

Например: усиление
квантового выхода
фотосистемы II

Перспективы применения в биотехнологии

Стимуляция синтеза пигментов

Биоэнергетика



Наночастицы оксида титана (TiO₂)

Уникальные свойства и применения TiO_2

Физико-химические особенности:

Полиморфизм: НЧ имеют несколько модификаций.

Основные: анатаз (более токсичен) и рутил. Коммерческая смесь P25 синергетический эффект

Уникальное оптическое свойство:

Способность поглощать и рассеивать УФ-излучение

Фотокатализ:

Образование электрон-дырочных пар при попадании света

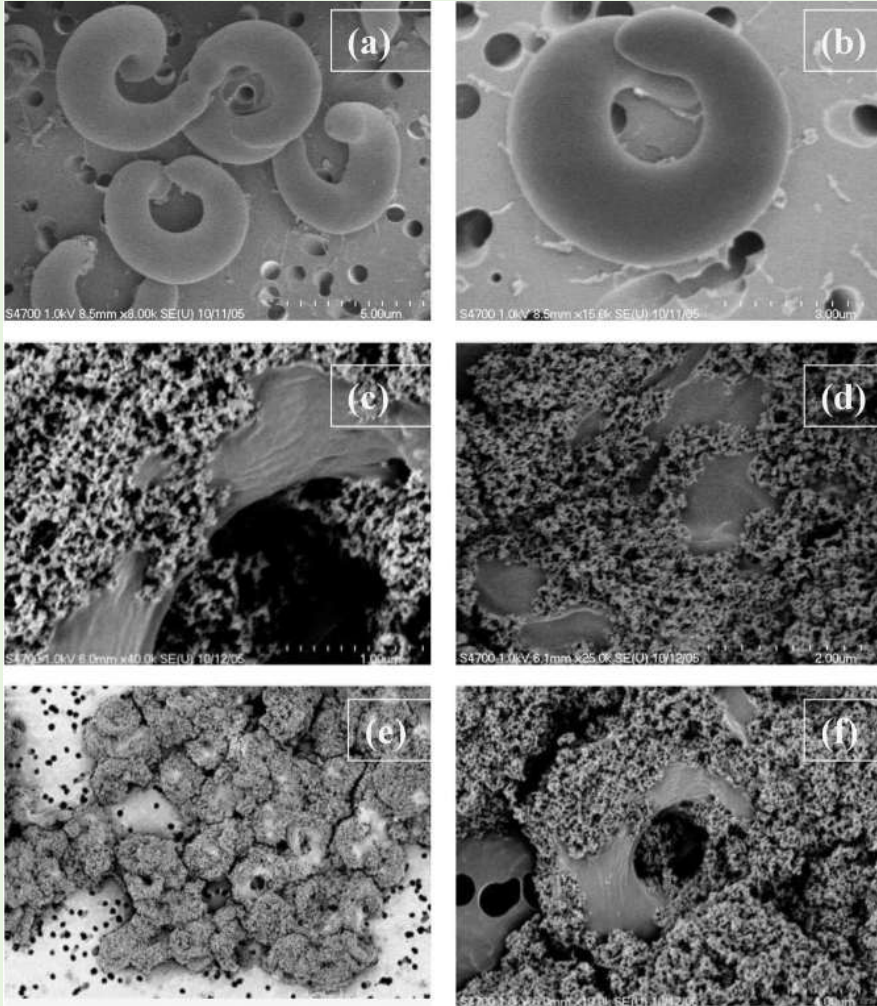
Ключевые сферы применения:

Медицина
Доставка лекарств
Терапия рака

Промышленность
Пищевые упаковки

Строительство
Самоочищающиеся
покрытия

Взаимодействие с водорослями: отрицательное влияние



Физическое воздействие
(адсорбция)

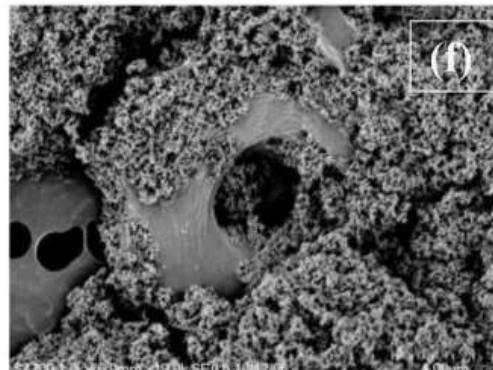
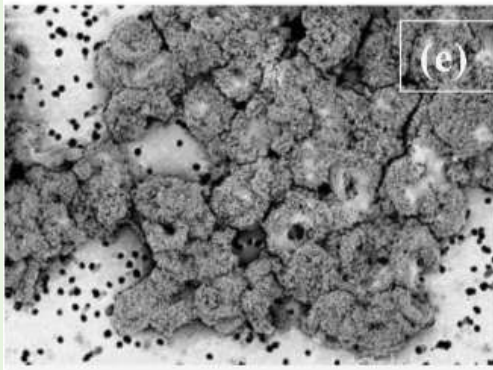
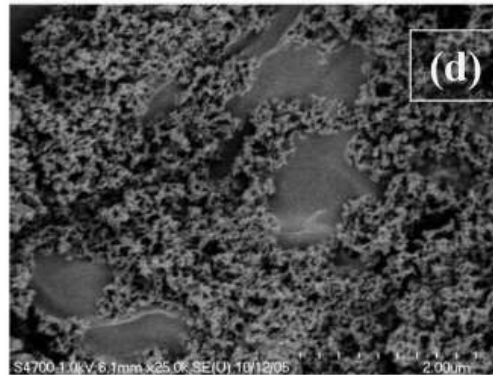
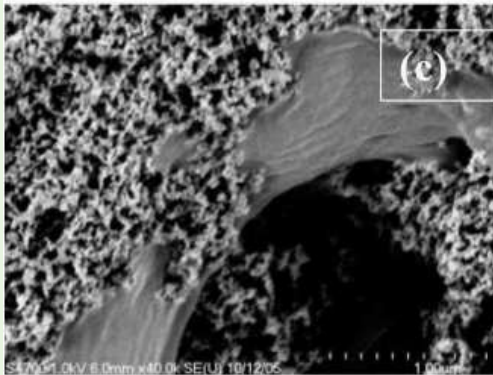
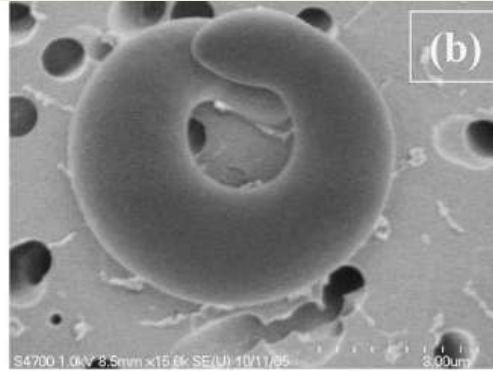
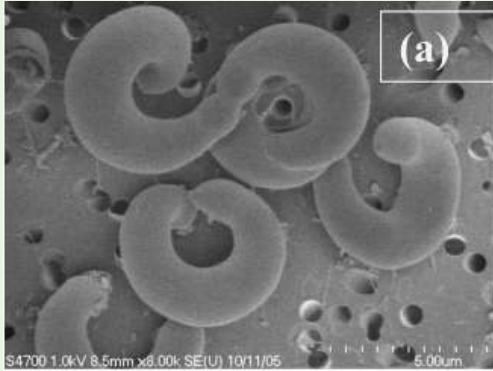
Окислительный стресс
(повреждение КС)

Нарушение фотосинтеза и
энергетического обмена

Подавление экспрессии генов

Клетки *Pseudokirchneriella subcapitata* , СЭМ
(из: Metzler et al., 2011)

Взаимодействие с водорослями: отрицательное влияние



Ультратонкие срезы клеток *P. subcapitata* в отсутствие (a, b) и присутствии (c-f) НЧ TiO₂, СЭМ
a и b – водоросли без НЧ;
c-f – водоросли в присутствии 100 мг/л TiO₂.
(из: Metzler et al., 2011)

Взаимодействие с водорослями: положительное влияние

Стимуляция:

- Роста (эффект гормезиса)
- Синтеза биологических веществ
- Фотосинтеза и метаболизма

Перспективы применения в биотехнологии

**Стимуляция синтеза
пигментов**

Например: каротиноидов

**Снижение токсичности
других загрязнителей**

Например: физическое
снижение доступности

Выводы

Выводы

1

Проведенный анализ литературы позволил разобраться в принципах классификации наночастиц, а также выяснить их уникальные физико-химические свойства, благодаря которым они находят широкое применение в медицине, электронике, косметологии и сельском хозяйстве.

2

Анализ работ, связанных с влиянием наночастиц золота и диоксида титана на микроводоросли из отдела Chlorophyta показал, что биологическая активность этих наночастиц носит дозозависимый характер, проявляясь в ингибировании роста, повреждении мембран и фотосинтетического аппарата

Выводы

3

Исследования по НЧ диоксида титана являются более «методически унифицированными», так как в них чаще всего используются стандартизированные коммерческие препараты (в частности, P25), в то время как НЧ золота в работах чаще синтезируются самими авторами различными химическими или «зелеными» методами. Подобное отсутствие стандартизации и разрозненный характер данных затрудняют понимание того, какие именно формы ЗНЧ преобладают в природных экосистемах и как они реально взаимодействуют с биотой. Тем не менее, для обоих типов НЧ необходимы дальнейшие исследования, направленные на уточнение конкретных механизмов токсичности, изучение долгосрочных эффектов и видоспецифичности реакций.

Выводы

Обобщение результатов современных работ указывает на значительные перспективы использования НЧ металлов в биотехнологии для направленной стимуляции синтеза ценных

4 метаболитов (липидов и пигментов), создания «нано-био-гибридных» систем преобразования энергии и развития экологически безопасных методов «зеленого» синтеза самих наноматериалов.

The background features a marbled pattern in shades of green, gold, and white. On the right side, there is a profile of a person's head wearing glasses, rendered in a style that blends with the marbled background. The text is centered in the lower half of the image.

**Спасибо за
внимание!**

Благодарности

Евгению Ивановичу Мальцеву и
Марии Александровне Гололобовой
за возможность выполнить работу по
этой теме

И Георгиеву Антону Александровичу

