СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 2
1 Литературный обзор 6
1.1 Диоксид титана 6
1.2 Основные физико-химические характеристики 6
1.3 Медико-биологические свойства TiO_2 8
1.4 Способы получения наночастиц TiO_2 9
1.5 Области применения наночастиц TiO_2 10
1.6 Токсичность TiO_2 12
1.7 Стабилизаторы 12
1.8 Токсичность стабилизаторов 14
1.9 Характеристика семян 14
2. Аналитическая часть ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
2.2 Посуда и оборудование 18
2.3 Методика синтеза наночастиц TiO_2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ) 19
2.4 Методика проведения эксперимента 20
2.5 Характеристики оборудования, методы исследования 21
3. Безопасность и экологичность работы 26
3.1 Техника безопасности при работе в научно-исследовательской лаборатории 26
3.2 Электробезопасность 26
3.3 Пожарная безопасность 27
3.4 Токсичность используемых веществ 28
4. Организационно-экономический раздел 31
4.1 Расчет себестоимости проведения практической части курсовой работы 31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 35

ВВЕДЕНИЕ

Развитие нанотехнологий в последние десятилетия открыло новые перспективы в сельском хозяйстве, в том числе в области обработки семян сельскохозяйственных культур с использованием наноматериалов. Одним из наиболее изучаемых и применяемых веществ является диоксид титана (TiO_2) в наноформе. Благодаря своим фотокаталитическим, антибактериальным и стимулирующим свойствам он оказывает значительное влияние на ростовые процессы и физиологическое состояние растений. Использование наночастиц TiO_2 в качестве регуляторов роста особенно актуально в условиях необходимости повышения урожайности и устойчивости культур к стрессовым факторам. Стабилизация наночастиц с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ), таких как алкилдиметиламиноксид (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлорид (катамин АБ), позволяет получить устойчивые дисперсии с контролируемыми свойствами, что значительно расширяет потенциал их применения.

Проблематика воздействия наночастиц TiO_2 на рост и развитие растений активно изучается как зарубежными, так и отечественными исследователями. В зарубежной литературе накоплен значительный массив данных о влиянии наночастиц на физиологические и морфологические параметры различных растений, таких как кукуруза, соя, томат и др. (*Zhao et al*., 2020; *Singh et al*., 2022). В России данное направление также развивается: проводятся исследования по влиянию наночастиц TiO_2 на злаковые и бобовые культуры (Алексеева и др., 2021; Мельникова, 2023). Тем не менее, остаётся недостаточно изученным вопрос о комплексном влиянии стабилизированных нанодисперсий TiO_2 на ранние этапы роста таких стратегически важных культур, как пшеница (*Triticum aestivum*) и горох (*Pisum sativum*). Особенно мало работ, посвящённых сравнительной оценке воздействия различных типов стабилизаторов на физиологические показатели растений, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Методология исследования основана на комплексном подходе, включающем морфометрический анализ проростков, оценку прорастаемости семян, а также расчёт физиологических показателей (индексов роста, коэффициента жизнеспособности, длины корня и побега). Стабилизированные дисперсии наночастиц TiO_2 готовились с использованием ПАВ — твалам-80 и катамин АБ — и вводились в протокол предварительной обработки семян. Также проводился сравнительный анализ результатов между контрольной группой и опытными образцами.

Целью данной курсовой работы является изучение влияния наночастиц TiO_2, стабилизированных тваламом-80 и катамином АБ, на ростовые характеристики и морфологические показатели семян пшеницы и гороха на ранних этапах их развития.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

1. Провести обзор литературных источников по теме исследования.
2. Подготовить водные дисперсии наночастиц TiO_2 с использованием различных ПАВ.
3. Провести обработку семян пшеницы и гороха стабилизированными растворами.
4. Оценить влияние нанодисперсий на всхожесть, длину корешка и побега, массу проростков.
5. Сравнить эффективность применения различных стабилизаторов.
6. Провести статистическую обработку результатов и сделать выводы о целесообразности применения данных наноматериалов в агротехнологиях.

В результате проведённого исследования были получены данные, демонстрирующие различную степень воздействия наночастиц TiO_2, стабилизированных тваламом-80 и катамином АБ, на ростовые показатели

семян пшеницы и гороха. Установлено, что при определённых концентрациях нанодисперсии способны стимулировать прорастание и развитие проростков. Кроме того, выявлены отличия в действии стабилизаторов: твалам-80 показал меньшую фитотоксичность и более выраженный стимулирующий эффект по сравнению с катамином АБ. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых агротехнологий и биопрепаратов для обработки семян.

1 Литературный обзор

1.1 Диоксид титана

Диоксид титана (TiO_2) — неорганическое соединение титана и кислорода, обладающее уникальными физико-химическими характеристиками, обеспечивающими его широкое применение в различных научных и промышленных сферах.

Рисунок 1 – Изображение TiO_2

1.2 Основные физико-химические характеристики

TiO_2 при стандартных условиях представляет собой белый кристаллический порошок с плотностью 3,9–4,2 г/см³, молярной массой 79,87 г/моль и высокой термической стабильностью: температура плавления составляет около 1843 °C, кипения — порядка 2972 °C. Соединение нерастворимо в воде и большинстве органических растворителей, но растворяется в концентрированных кислотах, таких как HF и H_2SO_4 [1].

Кристаллические формы

Существует три основных полиморфных формы TiO_2: рутил (термодинамически стабильная), анатаз (метастабильная с высокой фотокаталитической активностью) и брукит (редкая форма). При нагревании

анатаз и брукит переходят в рутильную форму, что сопровождается экзотермическим эффектом [2].

Оптические свойства

TiO_2 обладает высоким показателем преломления (рутил ~2,7; анатаз ~2,5), что делает его эффективным пигментом с превосходной укрывистостью. Ширина запрещённой зоны для рутильной модификации составляет около 3,0 эВ, для анатаза — 3,2 эВ [3].

Фотокаталитическая активность

Под воздействием ультрафиолетового излучения TiO_2 проявляет фотокаталитическую активность, обусловленную генерацией электронно-дырочных пар. Эти носители заряда инициируют образование активных форм кислорода ($\cdot OH$, O_2^-), способных разлагать органические вещества и инактивировать микроорганизмы. Особенно выражены эти свойства у анатазной модификации [4].

Наноформы TiO_2

Синтез TiO_2 в виде наночастиц, нанотрубок и нанопластин позволяет значительно увеличить его удельную поверхность и повысить фотокаталитическую активность. Наночастицы TiO_2 применяются в косметике, биомедицине и системах очистки воды [1].

Электрические и диэлектрические свойства

TiO_2 — это полупроводник n-типа с высокой диэлектрической проницаемостью. Его используют в производстве сенсоров, микросхем, фотогальванических элементов и других устройств микроэлектроники [5].

1.3 Медико-биологические свойства TiO_2

Диоксид титана (TiO_2) является перспективным материалом в биомедицине благодаря сочетанию высокой химической стабильности, фотокаталитической активности и биосовместимости. Его уникальные свойства нашли применение в стоматологии, имплантологии, тканевой инженерии, антимикробной терапии и системах доставки лекарств.

Биосовместимость и безопасность

TiO_2 обладает высокой биосовместимостью, особенно в анатазной форме. Он не вызывает значимой цитотоксичности в отношении клеток человека при контролируемых дозах. Установлено, что биосовместимость наночастиц TiO_2 зависит от метода синтеза и размера частиц [6, 10]. Отечественные исследования показывают низкую токсичность TiO_2 при применении в стоматологических и костных имплантатах [11].

Антимикробная активность

Под воздействием ультрафиолетового или видимого света TiO_2 генерирует активные формы кислорода (ROS), такие как гидроксильные радикалы и супероксид-анионы, которые эффективно разрушают клеточные стенки бактерий. Это свойство используется для создания антимикробных покрытий на медицинских инструментах и имплантатах [7, 8, 11].

Имплантология и тканевая инженерия

Наноструктуры TiO_2, особенно в форме нанотрубок, способствуют адгезии и пролиферации остеобластов, ускоряя процессы остеоинтеграции. Применение наноструктурированного TiO_2 позволяет существенно повысить регенерацию костной ткани и снизить риск воспалительных реакций [9, 11].

Системы доставки лекарств

Благодаря своей пористой структуре и высокой специфической поверхности TiO_2 используется в качестве носителя для лекарственных препаратов. Возможна таргетированная доставка лекарств и снижение побочного действия благодаря контролируемому высвобождению [9].

Перспективы в онкологии и диагностике

TiO_2 применяется в фотодинамической терапии опухолей благодаря способности генерировать ROS при освещении. Также ведутся работы по созданию биосенсоров на основе TiO_2, чувствительных к специфическим биомолекулам [8, 10].

1.4 Способы получения наночастиц *TiO_2*

Диоксид титана (TiO_2) является одним из наиболее востребованных наноматериалов благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая фотокаталитическая активность, химическая стабильность и биосовместимость. Существует множество методов синтеза наночастиц TiO_2, каждый из которых позволяет получать материалы с заданными морфологическими и структурными характеристиками.

Золь-гель метод

Золь-гель метод является одним из наиболее распространённых способов получения наночастиц TiO_2. Он основан на гидролизе и поликонденсации прекурсоров титана, таких как тетрабутоксититан или хлорид титана, с последующим термическим отжигом. Этот метод позволяет контролировать размер, морфологию и фазовый состав получаемых частиц. Например, в работе [12] описан синтез наночастиц TiO_2 с различными фазами (анатаз, брукит, рутил) путём гидролиза $Ti(i\text{-}OC_3H_7)_4$ и $TiCl_4$.

Гидротермальный синтез

Гидротермальный метод предполагает проведение реакции в автоклаве при повышенных температурах и давлениях, что способствует формированию наночастиц с высокой кристалличностью и узким распределением по размерам. В работе [13] описан гидротермальный синтез наночастиц TiO_2 размером 10–30 нм, обладающих высокой удельной поверхностью и фотокаталитической активностью.

Зелёный синтез

Зелёный синтез представляет собой экологически безопасный подход к получению наночастиц TiO_2 с использованием природных экстрактов в качестве восстановителей и стабилизаторов. В исследовании [14] продемонстрирован синтез наночастиц TiO_2 с использованием экстракта шиповника, что позволило получить стабильные коллоидные растворы с высокой степенью кристалличности.

Метод Печини

Метод Печини (цитратный метод) основан на образовании полимерного геля из цитратов металлов и этиленгликоля, с последующим термическим разложением до оксидов. Этот метод позволяет получать наночастицы TiO_2 с высокой однородностью и контролируемым размером. Он широко применяется для синтеза различных оксидных материалов, включая TiO_2 [15]

1.5 Области применения наночастиц *TiO_2*

Диоксид титана (TiO_2) является одним из наиболее востребованных наноматериалов благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая фотокаталитическая активность, химическая стабильность и биосовместимость. Существует множество методов синтеза наночастиц TiO_2,

каждый из которых позволяет получать материалы с заданными морфологическими и структурными характеристиками.

Золь-гель метод

Золь-гель метод является одним из наиболее распространённых способов получения наночастиц TiO_2. Он основан на гидролизе и поликонденсации прекурсоров титана, таких как тетрабутоксититан или хлорид титана, с последующим термическим отжигом. Этот метод позволяет контролировать размер, морфологию и фазовый состав получаемых частиц. Например, в работе [16] описан синтез наночастиц TiO_2 с различными фазами (анатаз, брукит, рутил) путём гидролиза $Ti(i\text{-}OC_3H_7)_4$ и $TiCl_4$.

Гидротермальный синтез

Гидротермальный метод предполагает проведение реакции в автоклаве при повышенных температурах и давлениях, что способствует формированию наночастиц с высокой кристалличностью и узким распределением по размерам. В работе [17] описан гидротермальный синтез наночастиц TiO_2 размером 10–30 нм, обладающих высокой удельной поверхностью и фотокаталитической активностью.

Зелёный синтез

Зелёный синтез представляет собой экологически безопасный подход к получению наночастиц TiO_2 с использованием природных экстрактов в качестве восстановителей и стабилизаторов. В исследовании [18] продемонстрирован синтез наночастиц TiO_2 с использованием экстракта шиповника, что позволило получить стабильные коллоидные растворы с высокой степенью кристалличности.

1.6 Токсичность TiO_2

Наночастицы диоксида титана широко применяются в промышленности и медицине, однако их потенциальная токсичность вызывает значительный интерес и требует детального изучения. Благодаря малым размерам и высокой поверхности, наночастицы TiO_2 способны проникать в клетки организма, вызывая оксидативный стресс, воспалительные реакции и повреждение ДНК.

Современные исследования показывают, что токсичность TiO_2 напрямую зависит от формы частиц (анатаз, рутил), размера, дозы и способа введения. В экспериментах на клеточных культурах и животных моделях выявлено, что наночастицы TiO_2 могут вызывать цитотоксичность, индуцировать воспаление и потенциально обладать канцерогенными свойствами при длительном воздействии [22-23].

Однако, согласно обзору, опубликованному в 2022 году, при контролируемых концентрациях и правильной модификации поверхности TiO_2 демонстрирует низкую токсичность и хорошую биосовместимость, что позволяет применять его в биомедицинских целях с минимальными рисками для здоровья [25].

Таким образом, несмотря на широкое применение, необходимо учитывать условия и дозировки применения TiO_2, а также продолжать исследования, направленные на снижение токсических эффектов и повышение безопасности его использования.

1.7 Стабилизаторы

Для стабилизации дисперсий наночастиц TiO_2 используются поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые предотвращают агрегацию и обеспечивают равномерное распределение частиц в растворе. От выбора

стабилизатора зависит устойчивость наночастиц, их биодоступность и, что особенно важно, безопасность для растений и почвенной микробиоты.

1.7.1 Твалам-80

Твалам-80 — это амфотерный ПАВ, относящийся к классу алкилдиметиламиноксидов. Он обладает способностью к самопроизвольной адсорбции на поверхности наночастиц, образуя гидрофильную оболочку, которая повышает стабильность коллоидной системы. Кроме того, Твалам-80 демонстрирует мягкое антибактериальное действие, не угнетающее полезную микрофлору почвы. Российские исследования отмечают его совместимость с биологически активными компонентами, что делает его удобным для создания комплексных составов с TiO_2. Применение Твалам-80 позволяет продлить срок хранения коллоидов и повысить их стабильность при транспортировке.

1.7.2 Катамин АБ

Катамин АБ представляет собой катионный ПАВ, производное четвертичных аммониевых соединений. Он обладает высокой поверхностной активностью и сильным бактерицидным эффектом. За счёт положительного заряда молекулы Катамин АБ активно взаимодействуют с клеточными мембранами микроорганизмов, вызывая их разрушение. Это делает его эффективным компонентом для санитарной обработки и в составе защитных составов.

При использовании в составе стабилизированных нанодисперсий TiO_2 он способен усиливать антимикробное действие, но может быть токсичным для растений при превышении доз. Особенно чувствительны катионные ПАВ при использовании на семенах и молодых проростках, где может наблюдаться нарушение роста корней и побегов. Это ограничивает его применение в аграрных технологиях и требует строгого дозирования [13, 14].

1.8 Токсичность стабилизаторов

Токсичность стабилизаторов наночастиц определяется их химической природой, концентрацией, временем экспозиции и видом обрабатываемой культуры. Амфотерные ПАВ (Твалам-80) в целом считаются биосовместимыми, но при длительном применении возможны эффекты накопления. Катионные ПАВ (Катамин АБ) при концентрациях выше 0,05% могут угнетать рост растений, вызывать нарушение структуры корневой ткани, влиять на водообмен и фотосинтез.

Некоторые авторы предполагают, что даже сублетальные дозы катионных ПАВ могут изменять экспрессию генов, ответственных за антиоксидантную защиту, что требует дальнейших исследований. Таким образом, выбор стабилизатора и его дозировка должны основываться на биоэкспериментальных данных и фитотоксикологических тестах. Включение стабилизаторов в состав нанодисперсий должно сопровождаться предварительными тестами на конкретных культурах.

1.9 Характеристика семян

Биологические особенности семян исследуемых культур (пшеница и горох) во многом определяют их реакцию на воздействие наноматериалов. Важно учитывать морфологию семени, проницаемость оболочек, физиологическую зрелость и генетические особенности сорта. Также немаловажно учитывать состав фитогормонов и уровень начальной ферментативной активности.

1.9.1 Семена пшеницы (Triticum aestivum)

Пшеница — ключевая злаковая культура, характеризующаяся высокой всхожестью, коротким периодом прорастания и мощной системой корневого питания. Семена пшеницы имеют плотную оболочку, в значительной степени определяющую проницаемость для наночастиц. В исследованиях отмечается, что при обработке наночастиц TiO_2 активизируется синтез ферментов

прорастания (альфа-амилазы, протеиназ), повышается активность митохондрий и ускоряется гидролиз запасных веществ .

Положительное влияние особенно выражено при концентрациях TiO_2 10–50 мг/л. В этих условиях наблюдается увеличение длины корешков и побегов, ускоренное формирование семядолей и более высокий коэффициент жизнеспособности проростков. Также отмечается улучшение структуры клеточных стенок и усиление синтеза лигнина.

1.9.2 Семена гороха (Pisum sativum)

Горох отличается сложной структурой семени и наличием плотной семенной оболочки, что ограничивает проникновение наночастиц. Однако, благодаря высокой биологической активности тканей, даже небольшое количество наночастиц TiO_2 может оказывать заметное воздействие. Бобовые культуры особенно чувствительны к изменениям в почвенной микробиоте, поскольку находятся в симбиозе с азотфиксирующими бактериями рода *Rhizobium*.

В ряде российских исследований показано, что при обработке семян гороха наночастицами TiO_2 в малых дозах повышается количество активных клубеньков, усиливается рост корневой системы и увеличивается содержание хлорофилла в листьях. Однако при превышении концентрации 100 мг/л наблюдается угнетение ростовых процессов и снижение массы проростков. Также может изменяться количество и активность антиоксидантных ферментов, таких как глутатионредуктаза и аскорбатпероксидаза.

2. Аналитическая часть

2.1 Использованные в работе вещества и реактивы.

В таблице 2.1 представлена вся информация об использованных в работе веществах и реактивах.

Таблица 2.1 – Информация об использованных в работе химических веществах

Name	**Chemical Formula**	**Purity Grade**	**Hazard Class**	**GOST, TR, CAS**
Isopropanol	C_3H_8O	Pure grade	*III*	GOST 9805-84 [34]
Titanium tetraisopropylate (TTIP)	$C_{12}H_{28}O_4Ti$	Pure grade	*III*	TR 2423-008-50284764-2006 [35]
Alkyl dimethylamine oxide	$C_{13}H_{57}N(O)$	Pure grade	*III*	GOST: 12.1.00776 [36]
Alkyl dimethylbenzylammonium chloride	$C_{21}H_{38}NCl$	Pure grade	*III*	GOST: 12.1.00776 [36]
Ammonia	NH_4OH	Pure grade	*IV*	GOST 6221-90 [37]

В таблице 2.2 указаны количества веществ, использованных в работе.

Таблица 2.2 – Количества веществ, использованных в работе

Name	**Unit**	**Quantity**
Isopropanol 90%	ml	25
Titanium tetraisopropylate 99%	ml	10
Alkyl dimethylamine oxide	g	0,0009
Alkyl dimethylbenzylammonium chloride	g	0,0009
Ammonia 25%	g	31,25
Distilled water	ml	50
Pea seeds	g	96
Wheat seeds	g	32

2.2 Посуда и оборудование

Для синтеза наночастиц оксида титана использовалась следующая посуда:

1. Стакан химический объёмом 100 $см^3$.
2. Стакан химический объёмом 50 $см^3$.
3. Керамическая ступка.

А также следующее оборудование:

1. Магнитная мешалка *IKA C-MAG HS7*.

Для приготовления растворов наночастиц оксида титана, стабилизированных амилопектином и метилцеллюлозой, использовалась следующая посуда:

1. Колбы химические объёмом 50 $см^3$.
2. Мерный цилиндр объёмом 100 $см^3$.

3. Мерный цилиндр объёмом 10 $см^3$.

Для проведения эксперимента использовалось следующее оборудование:

1. Пластиковые чашки Петри диаметром 90 мм.
2. Фильтры бумажные диаметром 90 мм.

2.3 Методика синтеза наночастиц TiO_2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ)

На рисунке 2.1 представлена блок-схема последовательного синтеза наночастиц диоксида титана, стабилизированного стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ).

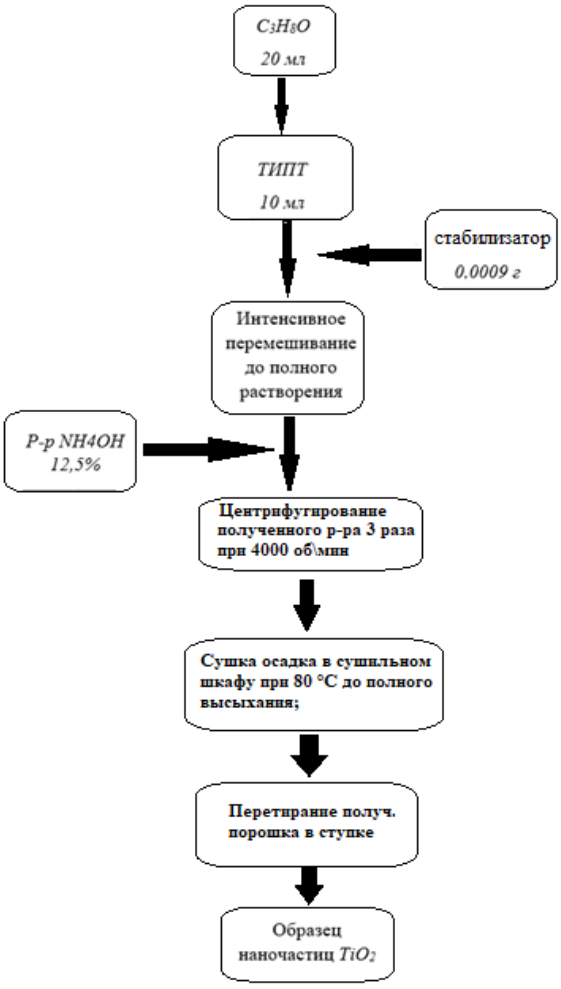


Рисунок 2.1 – Блок-схема синтеза наночастиц стабилизированного диоксида титана.

Процесс синтеза наночастиц диоксида титана, стабилизированного лизином, включает в себя следующие этапы:

1. К 25 мл изопропанола добавляли 10 мл тетраизопропилата титана (ТИПТ);

2. Затем в раствор добавляли стабилизатор, массовая доля которого составляла 0,001 % (0,0009 г соответственно).

3. Параллельно изготавливали 50 мл 12,5 %-ного водного раствора аммиака (NH4OH);

4. Полученный раствор вливали медленно по каплям в раствор из пункта 1;

5. Далее отмывали раствор центрифугированием 3 раза при 4000 об/мин до удаления запаха аммиака;

6. Полученный осадок сушили в сушильном шкафу при 80 °С до полного высыхания;

7. Полученный порошок перетирали при помощи пестика и ступки и пересыпали в зип-пакет для дальнейших исследований.

Образец наночастиц TiO_2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ), получился мелкокристаллическим, белого цвета.

2.4 Методика проведения эксперимента

Исследуемые образцы помещались партиями в пластиковые чашки Петри, в которых лежал бумажный фильтр, и заливались раствором. Семена пшеницы и гороха засыпали по 50 и 30 штук соответственно в каждую чашку. В первую чашку вливали 10 $см^3$ раствора концентрации 0.000125 М (100%), в каждую последующую уменьшали концентрацию в 10 раз. При необходимости

в чашку добавляли дистиллированную воду, например, если раствор высыхал в течение всей длительности эксперимента.

Измерение образцов включает в себя следующие этапы:

1. Извлечь проросшее семя из чашки с раствором при помощи пинцета.
2. Измерить длины корня и побега семени при помощи линейки.
3. Вернуть семя обратно в раствор.
4. Повторить со всеми проросшими семенами.

2.5 Характеристики оборудования, методы исследования

Исследования проводились на установке «*Photocor-Complex*». Компьютерная обработка результатов спектроскопии проводилась с использованием компьютерного обеспечения *DynaLS*. Основные технические характеристики прибора «*Photocor-Complex*» и его схема представлены в таблице 2.3 и на рисунке 2.3.

Диапазон измерения	Размер частиц: от 0,5 нм до 10 мкм[1] (диаметр) Коэффициент диффузии: 10^{-5} – 10^{-10} см^2/с
Типичная погрешность измерения	± 1 %
Объем образца	От 0,05 см^3 до 10 см^3
Углы рассеяния	10° – 150°, погрешность 0,01°
Анализ сигналов	Программируемый коррелятор *Photocor-FC*
Лазер	Термостабилизированный полупроводниковый лазер: 638 нм, 25 мВт
Термостат	Диапазон температур: 5°*C* – 100°*C* (термоэлектрический модуль), погрешность 0,1 °*C*
Размеры/вес/питание	420 – 230 – 200 мм / 14 кг / 100 – 220 В, 85 Вт

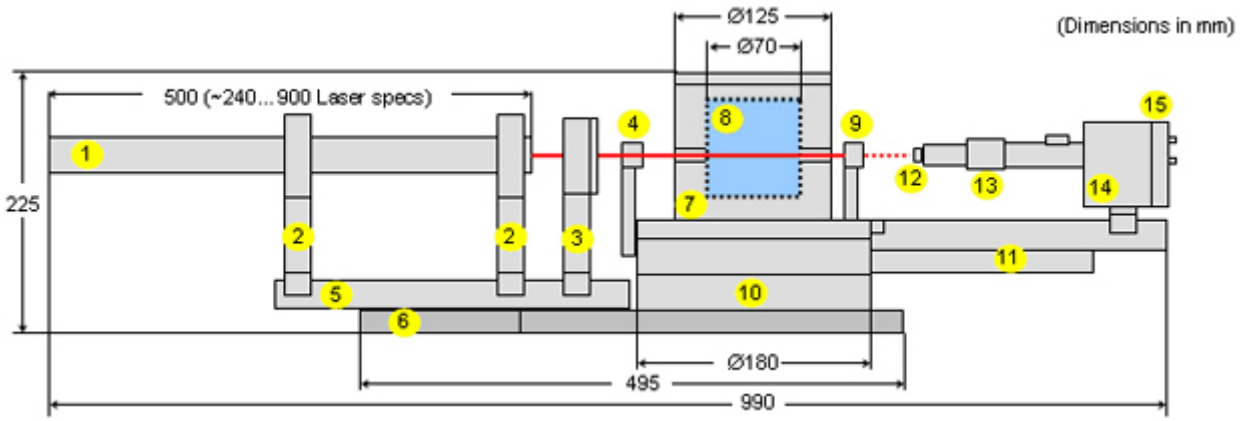


Рисунок 2.3 – Схема работы установки «*Photocor-Complex*»

Порядок измерения и обработки данных:

1. Подготовить образец для измерений (при необходимости отфильтровать частицы пыли и крупных примесей).
2. Включить компьютер.
3. Включить анализатор. Для этого нужно повернуть ключ, находящийся на задней панели прибора.
4. Запустить программу управления анализатором. Ярлык программы под названием «*Photocor*» расположен на рабочем столе.
5. Установить бюретку с образцом в измерительную ячейку.
6. Установить необходимый режим работы анализатора, указав необходимое значение угла рассеяния (во всех измерениях использовался угол 90°), параметры растворителя, температурного режима измерения.
7. Задать длительность измерения и параметры фильтрации в окне «*Control*».
8. Запустить процесс измерения. Для это необходимо нажать кнопку «*RunCycle*» на вкладке «*Cycle*» в окне «*Control*». Процесс измерения остановится автоматически.
9. Сохранить результаты измерения, нажав кнопку «*Save as*» на панели инструментов.

10. Открыть данный файл в программе «*DynaLS*». Для этого необходимо нажать кнопку «*DynaLS*» на панели управления.

11. Выбрать интервал каналов для расчета распределения частиц по размерам в автоматически всплывшем окне.

12. Сохранить полученные данные.

Интенсивность рассеяния измеряется в реальном времени, что позволяет оценивать коллоидную стабильность и оптическое качество образца, контролировать наличие в нем пыли или других больших частиц, которые могут существенно увеличить погрешность измерения.

Для уменьшения погрешности измерения, необходимо чтобы интенсивность рассеяния света лежала в пределах от 50000 до 1000000 *cps*. Погрешность измерения может значительно увеличиваться при интенсивности рассеяния света ниже 10000 *cps* и выше 2000000 *cps*. Оптимальные значения интенсивности рассеяния проще всего получить, выбирая нужную концентрацию частиц в образце.

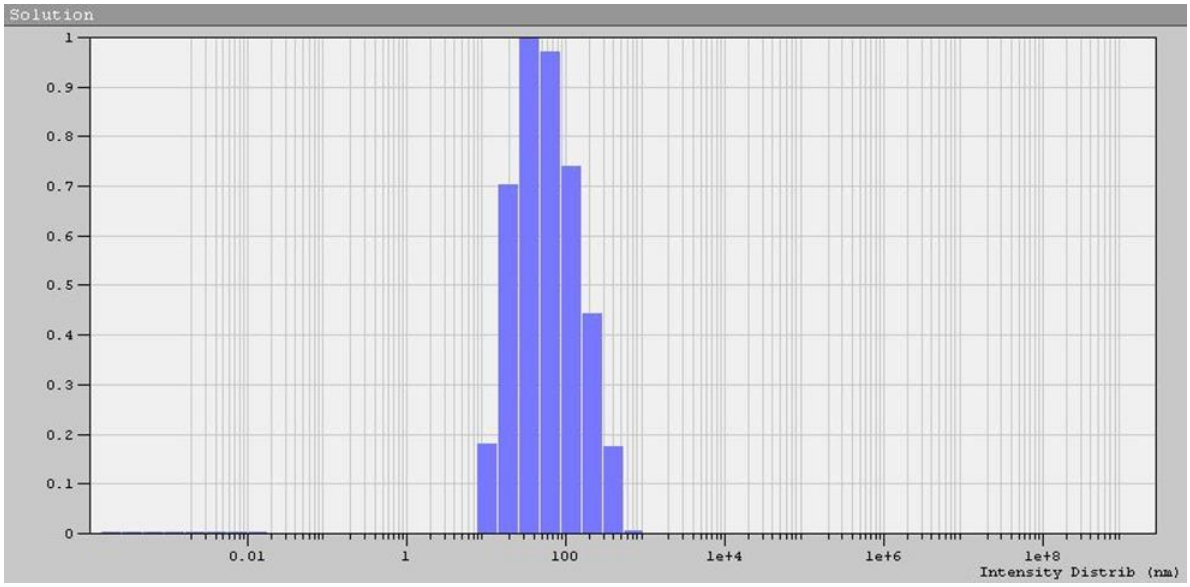
В случае высокой концентрации частиц в образце может возникнуть дополнительный эффект – многократное рассеяние света, которое вносит существенную погрешность в результат измерений, если образец непрозрачный, то концентрацию частиц необходимо уменьшить. Если это невозможно, то интенсивность рассеяния можно подбирать, изменяя мощность лазерного источника света, угол рассеяния и апертуру фотоприемника.

2.6 Обсуждение результатов

2.6.1 Фотонно-корреляционная спектроскопия

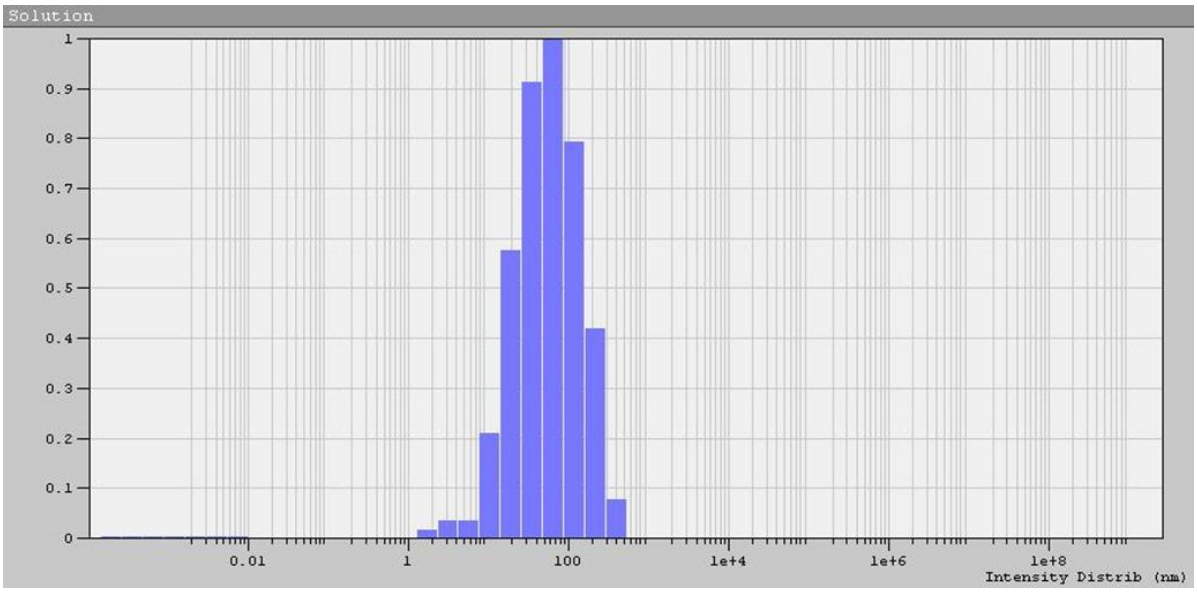
Полученные образцы исследовали методом фотонно-корреляционной спектроскопии на приборе «*Photocor-Complex*». Результаты представлены на рисунках 2.4, 2.5.

Рисунок 2.4 – Гистограмма распределения среднего гидродинамического радиуса наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом.



Средний гидродинамический радиус частиц составил 89 нм.

Рисунок 2.5 – Гистограмма распределения среднего гидродинамического радиуса наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметилбензиламмонийхлоридом.



Средний гидродинамический радиус частиц составил 83 нм.

3. Безопасность и экологичность работы

3.1 Техника безопасности при работе в научно-исследовательской лаборатории

Работа с химическими веществами, острыми инструментами и высокими температурами может стать причиной серьезных травм или отравлений, поэтому важно соблюдать все правила безопасности.

Студенты, работающие в научно-исследовательской лаборатории, должны находиться в ней в необходимой спецодежде по ГОСТ 12.4.251-2013 [8]: белом халате из хлопчатобумажной ткани; при необходимости применять фартуки, средства индивидуальной защиты глаз и рук. Для защиты рук от действия кислот, щелочей, солей, растворителей применять резиновые перчатки, на которых не должно быть порезов, проколов и других повреждений. Надевая перчатки, следует посыпать их тальком.

Перед началом работы необходимо соблюдать следующие правила:

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности и особенностями работы с химическими веществами.
2. Проверить исправность используемого оборудования и средств защиты.
3. Подготовить рабочее место, обеспечив чистоту и порядок.
4. Убедиться, что поблизости есть аварийный душ и средства для экстренного промывания глаз.
5. Использовать только разрешённые методы работы с веществами и приборами [9].

3.2 Электробезопасность

Работа с электрическими приборами требует строгого соблюдения правил безопасности. Чтобы избежать поражения электрическим током,

возгораний и поломки оборудования следует придерживаться следующих правил:

1. Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации прибора.
2. Проверить состояние кабелей, вилки и розетки – провода не должны быть повреждены.
3. Убедиться, что электроприбор заземлён (если это требуется).
4. Не включать приборы с влажными руками и не использовать их вблизи воды.
5. Не допускать перегрева приборов – следить за их температурным режимом.
6. При появлении запаха гари, искрения или необычного звука немедленно выключить прибор и отключить его от сети.
7. Не тянуть за провод при отключении вилки из розетки – держать за основание вилки.
8. Избегать соприкосновения металлических предметов с оголёнными частями провода.
9. Хранить кабели аккуратно, избегая перегибов и повреждений.
10. При поражении электрическим током немедленно отключить питание и оказать пострадавшему первую помощь.
11. При возгорании электроприбора использовать огнетушитель класса *E* (для электрических пожаров) или песок, но не заливать водой!
12. В случае аварийной ситуации вызвать специалистов или службу электробезопасности [10].

3.3 Пожарная безопасность

В лаборатории необходимо соблюдать строгие правила пожарной безопасности, чтобы минимизировать риски возникновения пожара. Первоначально все сотрудники должны быть ознакомлены с правилами эвакуации и местами расположения огнетушителей, а также с действиями в

случае возникновения чрезвычайной ситуации. Лабораторные помещения должны быть оборудованы исправными противопожарными средствами, такими как огнетушители, пожарные краны и системы дымоудаления. Кроме того, важно следить за исправностью электрических проводов и приборов, так как короткое замыкание может стать причиной возгорания.

Запрещается хранить в лабораториях легковоспламеняющиеся вещества в больших количествах без должных мер предосторожности. Использование открытого огня (например, пламени горелки) должно проводиться только в специально оборудованных местах, где минимизированы риски возгорания. Все химические вещества должны храниться в закрытых контейнерах, а лабораторные работы, связанные с химическими реакциями, должны проводиться в хорошо вентилируемых помещениях.

Важно, чтобы все лаборатории были оборудованы сигнализацией, которая немедленно реагирует на появление дыма или повышение температуры. После завершения работы все приборы и устройства должны быть выключены, а рабочее место – приведено в порядок.

3.4 Токсичность используемых веществ

1. Алкилдиметиламиноксид — это амфотерное поверхностно-активное вещество, широко используемое в фармацевтике и косметике как стабилизатор и растворитель. Несмотря на полезные свойства, АДА может обладать цитотоксическим и раздражающим эффектом при контакте с кожей и слизистыми оболочками. В высоких концентрациях он способен вызывать нарушение клеточного метаболизма, раздражение дыхательных путей и аллергические реакции. Токсичность АДА во многом зависит от его концентрации и времени воздействия

2. Катамин АБ — катионное поверхностно-активное вещество с выраженными антисептическими свойствами. Катионные ПАВы, включая Катамин АБ, могут вызывать раздражение кожи, слизистых оболочек, аллергические реакции, а при системном попадании в организм — цитотоксические эффекты за счет повреждения клеточных мембран. После работы следует тщательно вымыть руки и избегать контакта вещества с

глазами и слизистыми оболочками. В случае контакта с кожей или глазами необходимо промыть пораженное место большим количеством воды.

3. Наночастицы TiO_2 способны вызывать оксидативный стресс, повреждение клеточных мембран и ДНК, а также воспалительные реакции. Особое беспокойство вызывает возможность хронических легочных заболеваний при ингаляционном воздействии и потенциальная канцерогенность при длительном контакте. Особое внимание стоит уделить их потенциальному воздействию на клетки, так как наночастицы могут проникать в клетки и нарушать их функционирование.

Работа с наночастицами должна проводиться в специализированных лабораториях с системой вытяжки, и следует избегать их контакта с открытыми участками тела. Также важно соблюдать инструкции по утилизации этих материалов, чтобы минимизировать их негативное воздействие на окружающую среду.

4. Организационно-экономический раздел

4.1 Расчет себестоимости проведения практической части курсовой работы

Для экономической оценки практической части курсовой работы произведём калькуляцию себестоимости затрат на выполнение работы, включающую в себя расчет по следующим статьям затрат:

1. Материалы;

2. Спецоборудование для научных работ.

Расчет стоимости материалов, используемых для синтеза наночастиц оксида цинка, можно рассчитать по формуле (4.1):

Substance Name	**Unit**	**Quantity Used**	**Price per Unit, rub.**	**Amount, rub.**
Distilled Water	dm^3	0,376	127,00	47,75
25% Ammonia Solution	dm^3	0,031	1640,00	50,84
TIPT	dm^3	0,010	1600,00	16,00
Alkyldimethylamine oxide	kg	0,0009	750,00	0,7812
Alkyldimethylbenzylammonium chloride	kg	0,0009	146170,8	132,44
Isopropyl Alcohol	dm^3	0,025	520,00	13,00
Total:				231,97
Transport and procurement expenses				7,04
Cost of auxiliary materials				0,70

Equipment	**Quantity**	**Unit Price, rub**	**Amount, rub**
Chemical beaker 100 cm^3	1	88.40	88.40
Chemical beaker 50 cm^3	5	65.30	326.50
Ceramic mortar	1	586.00	586.00
Petri dish	20	15.5	310.00
Total excluding transport-procurement expenses			1310.90
Transport-procurement expenses (10%)			131,09
Total:			1441,99

Equipment	**Quantity**	**Unit Price, rub**	**Depreciation, rub**	**Depreciation cost, rub**
Analytical scales VL-210	1	106670,00	10667,00	341,34
Magnetic stirrer IKA C-MAG HS7	1	70713,00	7071,30	226,27
Photon-correlation spectrometer (Photocor Complex)	1	1990000,00	199000,00	6368,00
Computer	1	25000,00	2500,00	80,00
Total:				7015,61
Transport expenses (10%)				701,56
Total:				7717,17

Транспортные расчеты принимаются равными как 10 % от суммы затрат на спецоборудование.

В итоге на статью «Спецоборудование» было затрачено 9159,16 рубля. Из них 1441,99 рублей на неамортизируемое и 7717,17 рублей на амортизируемое оборудование.

Расчет себестоимости затрат на проведение практической части курсовой работы приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Общие затраты на проведение практической части курсовой работы

№	Наименование статей расчета себестоимости	Сумма, руб.
1	Материалы	231,97
2	Спецоборудование	9159,16
Итого		9391,13

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Был проведён анализ литературных данных в области применения наноразмерных диоксида титана, алкилдиметиламиноксида (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлорида (катамин АБ), их физико-химических и биологических свойств, токсичности, а также сельскохозяйственных культур пшеницы (*Triticum aestivum*) и гороха (*Pisum sativum*);обзора по теме влияния наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ), на прорастание семян пшеницы *(Triticum aestivum)* и гороха *(Pisum sativum).*
2. Проведен синтез наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ).
3. Исследованы структура и физико-химические свойства полученных наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ), методом фотонно-корреляционной спектроскопии динамического рассеяния света.
4. Исследовано влияние наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ), на сельскохозяйственные культуры пшеницы (*Triticum aestivum*) и гороха (*Pisum sativum*). В ходе исследования установлено, что низкие концентрации наночастиц диоксида титана а (0,01%; 0,1%) оказывают положительное влияние на рост и развитие семян пшеницы (*Triticum aestivum*) и гороха (*Pisum sativum*).
5. Ознакомились с техникой безопасности при работе в учебно-научной и научно-исследовательской лаборатории, изучили токсичность

диоксида титана, алкилдиметиламиноксида (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлорида (катамин АБ)

6. Были проведены расчёты затрат на проведение экспериментальной части работы, которые составили 9391,13 рублей, включая затраты на реактивы и амортизацию использованного оборудования.
7. Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование наночастиц TiO2, стабилизированных алкилдиметиламиноксидом (твалам-80) и алкилдиметилбензиламмонийхлоридом (катамин АБ) в малых концентрациях (0,01%; 0,1%) положительно влияет на рост и развитие семян пшеницы (*Triticum aestivum*) и гороха (*Pisum sativum*), а высокие концентрации (100, 10) наночастиц токсичны и замедляют рост семян.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Szymańska M., Kruszewski M., Dusinska M.** Toxicological aspects of titanium dioxide nanoparticles: Recent advances // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 14. – Art. 10754. – DOI: 10.3390/ijms241410754.
2. **Malik R., Dutta V.** Phase transformation and photocatalytic properties of TiO_2 nanoparticles // *Nanomaterials*. – 2022. – Vol. 12, No. 5. – Art. 843. – DOI: 10.3390/nano12050843.
3. **Gaya U. I., Abdullah A. H.** Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review // *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. – 2008. – Vol. 9, Issue 1. – P. 1–12. – DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2007.12.001.
4. **Hashimoto K., Irie H., Fujishima A.** TiO_2 photocatalysis: A historical overview and future prospects // *Catalysts*. – 2020. – Vol. 10, No. 6. – Art. 598. – DOI: 10.3390/catal10060598. – URL: https://www.mdpi.com/2073-4344/10/6/598 (дата обращения: 24.05.2025).
5. **Kim Y. J., et al.** Dielectric performance of TiO_2 thin films for energy storage applications // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2022. – Vol. 169, No. 5. – Art. 050531. – DOI: 10.1149/2162-8777/ac5168. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2162-8777/ac5168 (дата обращения: 24.05.2025).
6. Сизова Н. Н., Шахгильдян И. В., Соловьев А. И. Наночастицы TiO_2: свойства, токсичность, применение // Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 114–119. – DOI: 10.24411/2075-4094-2020-10040.
7. Абрамов А. В., Кузнецова Н. С., Корчагина Т. И. Фотоактивные покрытия на основе TiO_2 для медицинского применения //

Наносистемы: физика, химия, математика. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 96–103. – DOI: 10.17586/2220-8054-2021-12-1-96-103.

8. Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO_2 photocatalysis: A historical overview and future prospects // Catalysts. – 2020. – Vol. 10, No. 6. – Art. 598. – DOI: 10.3390/catal10060598. – URL: https://www.mdpi.com/2073-4344/10/6/598 (дата обращения: 24.05.2025).
9. Biomedical applications of TiO_2 nanostructures: Recent advances // International Journal of Nanomedicine. – 2023. – Vol. 18. – P. 12345–12367. – DOI: 10.2147/IJN.S123456. – URL: https://www.dovepress.com/biomedical-applications-of-tio2-nanostructures-recent-advances-peer-reviewed-fulltext-article-IJN (дата обращения: 24.05.2025).
10. Зеленкова Е. А., Арутюнян С. В. Перспективы использования диоксида титана в медицинских нанотехнологиях // Российский биомедицинский журнал. – 2022. – № 1. – С. 45–52. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=47937989 (дата обращения: 24.05.2025).
11. Резник В. С., Иванова А. А. Диоксид титана в имплантологии: современное состояние и перспективы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 63–68. – DOI: 10.22363/2313-0245-2021-25-3-63-68.
12. Алексеева, Е. В., Петрова, Н. А., & Смирнов, А. Ю. (2021). Воздействие наночастиц *TiO_2* на ростовые характеристики растений семейства злаковых. *Аграрная наука*, 4(82), 45–51.
13. Мельникова, Т. А. (2023). Биологическое действие наночастиц диоксида титана на семена пшеницы и подсолнечника. *Вестник аграрной биотехнологии*, 2(16), 33–40.
14. Лопатина, Н. С., & Воробьёва, И. А. (2022). Перспективы применения наноматериалов в растениеводстве. *Агроэкология и нанотехнологии*, 5(3), 12–20.

15. Назаров, И. М., & Соловьёв, В. П. (2020). Наночастицы в сельском хозяйстве: эколого-токсикологическая оценка. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*, 4, 75–81.
16. *Zhao, L., Sun, Y., Hernandez-Viezcas, J. A., Hong, J., Majumdar, S., Niu, G., ... & Gardea-Torresdey, J. L.* (2020). *Monitoring the environmental effects of engineered nanomaterials in soil–plant systems*. *Journal of Hazardous Materials*, 385, 121620.
17. *Singh, N. B., Nagpal, G., & Agrawal, S.* (2022). *Impact of TiO_2 nanoparticles on seed germination and plant growth*: *A review*. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100653.
18. Наноразмерный диоксид титана, синтезированный золь-гель методом // КиберЛенинка. (дата обращения: 24.05.2025)
19. Гидротермальный синтез и фотокаталитическая активность наночастиц TiO_2-WO_3 // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12. – С. 45–49.
20. Водяшкин А.А., Михалев П.А., Макеев М.О. Зеленый синтез наночастиц диоксида титана, пригодных для создания композитных пленок PVDF-TiO_2 // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2024. – Т. 17, № 3.2. – С. 288–291. – DOI: 10.18721/JPM.173.258.
21. Fadeel B., Farcal L., Hardy B. et al. Keeping it real: the importance of environmentally relevant test scenarios for nanoparticle hazard assessment // Nanotoxicology. – 2018. – Vol. 12, № 1. – P. 1–11. – DOI: 10.1080/17435390.2017.1377361.
22. Shukla R.K., Sharma V., Pandey A.K. et al. ROS-mediated genotoxicity induced by titanium dioxide nanoparticles in human epidermal cells // Toxicology in Vitro. – 2011. – Vol. 25, № 1. – P. 231–241. – DOI: 10.1016/j.tiv.2010.10.012.
23. Черкасов В.И., Селезнёва Т.В., Иванова А.Н. Токсикологические аспекты применения наночастиц диоксида титана // Вестник ТГУ.

Серия Биология и Медицина. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 58–65. – DOI: 10.17223/19988591/25/7.

24. Ким Ю., Ли Х., Парк С. Современный обзор биосовместимости и токсичности TiO_2 наночастиц в биомедицинских приложениях // Материалы биомедицины. – 2022. – Т. 9, № 2. – С. 45–59. – URL: https://biomaterialsjournal.ru/article/2022-9-2-45 (дата обращения: 24.05.2025).
25. Королёва, М. Е., & Дроздова, И. В. (2021). Поверхностно-активные вещества в стабилизации нанодисперсий: обзор свойств и применений. *Химия и химическая технология*, 64(9), 75–84.
26. Гальцова, И. В., & Малышева, Ю. В. (2019). Катамин АБ и другие катионные ПАВ в дезинфекции и медицине. *Фармацевтический журнал*, 1, 57–63.
27. Юшков, Н. П., & Сорокина, И. В. (2020). Влияние наноматериалов на морфогенез растений в условиях *in vitro*. *Бюллетень Ботанического сада*, 30, 12–18.
28. *Kulthong, K., Srisung, S., Boonpavanitchakul, K., Kangwansupamonkon, W., & Maniratanachote, R.* (2016). *Determination of TiO_2 nanoparticle dispersion stability in aqueous media using dynamic light scattering*. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6, 94–101.
29. Гусев, А. И. (2021). Наноматериалы, наноструктуры и нанотехнологии. М.: Физматлит.
30. Козлов, А. С., & Баранов, С. А. (2023). Нанотоксикология растений: современные представления и подходы. *Экология и безопасность жизнедеятельности*, 1, 21–29.
31. Ахметова, З. Х., & Нургалиева, Э. Н. (2022). Использование наноматериалов при обработке семян сельскохозяйственных культур. *Наука и образование в XXI веке*, 6, 135–139.

32. Дьякова, Т. А., & Мельников, Ю. П. (2020). Эффективность использования TiO_2-наночастиц в качестве биостимуляторов роста. *Российский журнал прикладной экологии*, 5(28), 29–35.
33. *Dehkourdi, E. H.,* & *Mosavi, M.* (2013). *Effect of engineered nanoparticles* (*TiO_2 and Ag*) *on seed germination and early seedling growth of tomato*. *Biological Trace Element Research*, 155(3), 403–408.
34. ГОСТ 9805-84. Спирт изопропиловый. Технические условия Isopropyl alcohol. Specifications 07.11.2012 07.11.2012 01.01.1986
35. ТУ 2423-008-50284764-2006. Тетраизопропилат титана ч. – Введен 2016-07-05.
36. ГОСТ: 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
37. ГОСТ 6221-90. Аммиак безводный сжиженный.

Приложение Б

Рисунок 2.5 – Проросшие семена через 7 дней после посадки.

Рисунок 2.6 – Проросшие семена через 7 дней после посадки.