

Н.П. Щипцова

Студент

(научный руководитель – Е.Н. Максимова, к.б.н., доцент кафедры естественнонаучных дисциплин ПИ ИГУ, г. Иркутск)

**ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ В
ЭКСПЕРИМЕНТЕ КАК МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
РАБОТЫ ШКОЛЬНИКА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ....	5
1.1.Понятие нанотехнологии, классификация наноматериалов	5
1.2. Методы синтеза наночастиц металлов	7
1.3. Биологические эффекты наночастиц на живой организм	9
ГЛАВА 2.МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
2.1. Объект исследования.....	11
2.2. Подготовка к исследованиям и измерение.....	13
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	15
ГЛАВА 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА	19
4.1. Основы организации исследовательской деятельности, характеристика видов.....	19
4.2. Организация работы школьников над исследовательской деятельностью по биологии и химии в свете требований ФГОС на примере изучения биологической активности ионов железа	21
ВЫВОДЫ	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	30

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, наночастицы (НЧ) становятся важным продуктом нанотехнологии с широкими перспективами использования. Однако до сих пор не проведена полноценная оценка их биологических рисков. Вырастает необходимость изучения токсического действия наночастиц на жизнедеятельность живых организмов, в том числе растений (Дерябина, 2011).

Микроводоросли являются доступными тест-объектами в биотестировании. Они обладают коротким жизненным циклом, что позволяет за небольшой срок проследить воздействие токсических веществ (Филенко, 2007). Также водоросли чувствительны к низким концентрациям тяжелых металлов. Накопление НЧ металлов водорослями происходит путем адсорбции на клеточной стенке. Происходит связывание металлов на поверхности клетки или внутри с помощью внутриклеточных лигандов. На это оказывает влияние температуры раствора, рН, концентрация металла в растворе, а также стадия метаболизма, в которой находится живой организм (Спиркина, 2016).

В развитии современных нанотехнологий большую роль играют исследования НЧ металлов. Это связано с широкими возможностями их практического применения. Они используются из-за специфических свойств наночастиц и модифицированных ими материалов (Абаева, 2010; Егоров, 2008).

Увеличивается опасность со стороны наноматериалов как нехарактерных для живой природы мелкодисперсных поллютантов с малоизученными токсикологическими свойствами.

Проблема безопасного внедрения нанопродукции в биологию, медицину, фармакологию и остальным технологиям остается открытым. На сегодняшний день собрано недостаточно информации токсичности наночастиц в отношении живых организмов. Установление допустимых диапазонов концентрации, проведение полной оценки рисков применения НЧ, а также выяснение биологической безопасности наночастиц, с учетом всех их физико-химических свойств и иных характеристик в настоящее время актуальная и необходимая работа. (Анциферова, 2012; Ковалева, 2017; Лысцов, 2010; Моргалев, 2010).

Цель:

Изучение биологической активности наночастиц оксидов железа для организации исследовательской работы школьника.

Для достижения указанной цели решались следующие **исследовательские задачи**:

1. Ознакомиться со спецификой наночастиц оксидов железа, их классификацией и свойствами.
2. Провести экспериментальное исследование особенностей роста тест-культур зеленых микроводорослей в условиях варьирования концентраций наночастиц оксидов железа.
3. Проанализировать полученные результаты.
4. Организовать исследовательскую деятельность для проведения внеклассных работ для учащихся.

Объектом исследования являются магнитные наночастицы оксида железа маггемита и магнетита.

Предмет исследования – биологическое влияние наночастиц маггемита и магнетита на тест-культуру зеленых микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., введенные на кафедре Естественных дисциплин Педагогического института ИГУ.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам Уральского Федерального университета (г. Екатеринбург) докт. физ.-мат. наук Сафронову А.П. и докт. физ.-мат. наук Курляндской Г.В., сотруднику Института физики им. Л.В.Керенского СО РАН (г. Красноярск) докт. физ.-мат. наук Столяр С.В. за возможность работать с суспензиями маггемита и магнетита.

Автор признателен канд. биол. наук, доценту кафедры ЕНД ПИ ИГУ Полюнову Владимиру Александровичу за ценные консультации по проведению эксперимента и за помощь в обобщении полученных результатов.

ГЛАВА 1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

1.1. Понятие нанотехнологии, классификация наноматериалов

Термин «нанотехнология» впервые упоминается в книге «Машины творения» 1986 г. физика Эрика Дрекслера, который стал называть свои предложения по конструировании отдельных молекул, обладающих заданными свойствами, «молекулярной нанотехнологией» (Андриевский, 2005).

В дальнейшем, было предложено множество определений «нанотехнологии». Приведем несколько определений. Нанотехнологии – это технологии работы с веществом на уровне отдельных атомов; набор научных, технологических и производственных направлений, которые объединены в единую культуру, основанную на проведении операций с материей на уровне отдельных молекул и атомов (Дзидзигури, 2012).

Согласно номенклатуре Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC) наночастицы – объекты, размеры которых во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм. (Нанометр – это одна миллиардная метра). Преимуществом таких частиц является размер, который соизмерим не только с живыми клетками (10-100 мкм), но и с вирусами (20-450 нм), белками (5-50 нм), генами (2 нм в ширину и 10-100 нм в длину). Такая особенность НЧ обеспечивает уникальные химические и физические свойства, нехарактерные для более крупных объектов (Гусев, 2002; Дзидзигури, 2012). Выделяют следующие основные свойства наночастиц (Кобаяси, 2007; Ковалева, 2017; Суздаев, 2006):

1. увеличение химического потенциала веществ на межфазной границе высокой кривизны. Это меняет растворимость, реакционную и каталитическую способность НЧ и их компонентов;
2. большая удельная поверхность, что позволяет увеличить адсорбционную емкость, химическую реакционную способность и каталитические свойства;
3. небольшие размеры и разнообразные формы, в следствии чего, НЧ могут связываться с нуклеиновыми кислотами, белками, проникать в клеточные органеллы и встраиваться в мембраны;
4. высокая адсорбционная активность, которая позволяет поглощать на единицу своей массы больше адсорбируемых веществ;
5. высокая способность к аккумуляции в живых организмах;

б. способность к самоорганизации и агломерации.

В биологической и медицинской литературе под наночастицами подразумевают искусственно созданные молекулярные конструкции, которые можно символично разделить на несколько классов (табл. 1.1.) (Абаева, 2010; Балоян, 2007; Головин, 2013; Ситникова, 2018).

Таблица 1.1.

Классификация наночастиц

Вид наночастиц	Разновидность
Биологические и биогенные наночастицы	Ферменты, белки, рибосомы, вирусы
Полимерные наночастицы	Полиэтиленгликоль, полигликолева и полимолочная кислоты
Дендримеры	Полиамидоамин, лизин
Углеродные наночастицы	Нанотрубки, фуллерены
Неорганические наночастицы	Наночастицы металлов: золото, серебро, платина, цинк, железо
Квантовые точки	Полупроводниковые нанокристаллы
Супермагнитные наночастицы	Магнетит (смесь различных оксидов железа)
Полимерные мицеллы	Мицеллы – переносчики гидрофобных лекарственных препаратов
Липосомы	Малые, большие и многослойные липосомы
Перфторуглеродные наночастицы	Наночастицы, состоящие из жидкоперфторуглеродного ядра, покрытые липидным монослоем

Отличительной особенностью биологических и биогенных НЧ является их способность к агрегации и самоорганизации. Такое свойство применяется для создания искусственных конструкций, имитирующих реальные биологические структуры.

Полимерные материалы активно используются в тканевой инженерии и реконструкции костей, благодаря их биосовместимости и способности к биодegradации (Суздаев, 2006).

Из-за способности образовывать стабильные комплексы с пептидами наночастицы на основе углерода применяются для доставки вакцин, в генной терапии. Для обнаружения опухолевых клеток, маркирования внутриклеточных органелл и визуализации микрососудов используются квантовые точки. Перфторуглеродные частицы используются, как инструмент для наблюдения за жизнью клеток, вводимых в организм с терапевтической целью (Ситникова, 2018; Суздаев, 2006).

Супермагнитные наночастицы используются в качестве контрастных агентов в магнитно-резонансной томографии. Полимерные мицеллы и липосомы обладают специфической структурой. Она позволяет внедрять лекарственное вещество или контрастный агент в ядро этих частиц для переноса вещества в необходимый участок организма (Головин, 2003). В качестве адресной доставки лекарственных препаратов применяются дендримеры и неорганические наночастицы (Абаева, 2010; Ситникова, 2018).

Применение НЧ для адресной доставки лекарственных препаратов позволяют повысить биодоступность препарата (Суздаев, 2006).

1.2. Методы синтеза наночастиц металлов

При получении наночастиц, методы, которые применяются, должны решать следующие проблемы (Андрусишина, 2011; Дзидзигури, 2012; Кобаяси, 2007; Михайлов, 2012):

1. При синтезе нужно обеспечить устойчивость системы, так как наночастицы характеризуются большой величиной площади поверхностного раздела.

2. Получение материала с требуемым размером кристалла, узким распределением по размерам частиц, которые соответствуют морфологии, химическому составу и микроструктуре.

3. Необходимо обеспечить устойчивость материала к нежелательной агломерации или слипанию наночастиц, после окончания процесса синтеза.

В данный момент разработано большое количество методов синтеза наночастиц. Все методы можно разделить на категории: «сверху вниз», «снизу вверх», химические и

физические методы (Горшко, 2012; Конюхов, 2018; Михайлов, 2012; Назаренко, 2008).

Благодаря методу «сверху вниз» - «top-down» можно получить изолированные атомы путем диспергирования грубодисперсных частиц. Примерами метода являются размол вещества с помощью мельниц или травление в литографии. Такими способами получают крупные частицы. Ухудшение структуры поверхности нанообъектов, которое приводит в дальнейшем к образованию дефектов является основной проблемой этих методов (Андрусишина, 2011).

Распространение получили конденсационные методы синтеза НЧ, такие как испарение, распыление, электронная и лазерная бомбардировки металлов, а также облучение в ультрафиолетовом излучении и воздействии ультразвуком (Андрусишина, 2011; Дзидзигури, 2012; Конюхов, 2018; Михайлов, 2012; Назаренко, 2008).

Большую популярность получили методы «снизу вверх» - «bottom-up», которые основаны на химических подходах, в частности, на восстановлении солей металлов, растворенных в воде или в других растворителях, в присутствии различных стабилизаторов. В качестве восстановителей используют химические соединения, такие как, борогидриды, алюмогидриды, гидразин, гипофосфиты, соли щавелевой кислоты, формалин, ацетон (Андрусишина, 2011).

НЧ благородных металлов можно получить путем нагрева раствора их солей в спирте или другом органическом растворителе (Егорова, 2014; Михайлов, 2012).

Главным недостатком химических методов является то, что при их использовании получают наночастицы металлов с очень широким распределением по размерам, но в последние годы достигнуты значительные успехи в направленном синтезе сферических частиц определённого размера с узким распределением.

Метода получения наночастиц также могут быть сгруппированы по признаку среду, в который происходит их рост (Кобаяси, 2007, Назаренко, 2008):

1. Процессы роста НЧ в газовой среде. Необходимый компонент переводится в газовую фазу путем испарения, распыления, сжигания. Образование наночастиц происходит в результате конденсации или химических реакций между компонентами газовой фазы.

2. Рост наночастиц в жидкой фазе за счет химических реакций обмена, разложения, полимеризации, кристаллизации.

3. Твердофазные процессы. Распад твердого раствора на отдельные фазы, выделение нанокристаллов при термообработке стекол и керамик.

4. Гибридные методы, использующие химические процессы на границе раздела фаз.

Движущей силой возникновения и роста наночастиц, является пересыщение – разность химических потенциальных компонентов в двух фазах. В результате протекания процессов фазового превращения, происходит возникновение новой фазы из-за стремления системы перейти в более устойчивое состояние (Кобаяси, 2007).

Различные способы синтеза одного и того же материала приводят к получению наночастиц, различных по химическому составу, кристаллической и микроструктуре из-за различий в кинетике процессов.

1.3. Биологические эффекты наночастиц на живой организм

При рассмотрении наночастиц всегда сопоставляют положительное влияние с их отрицательным воздействием на объекты окружающей среды.

К настоящему времени биологические эффекты НЧ металлов разделяют на две группы: биоцидное действие (то есть способность убивать живые организмы) и изменение функций живых организмов, проявляющееся на биологических объектах разных уровней организации, включая человека (Бабушкина, 2010; Дерябина, 2011; Егоров, 2008).

В числе экспериментов по установлению положительных биологических эффектов наночастиц следует отметить исследование противомикробных свойств наночастиц металлов. Серебро, медь и железо обладают высокой бактерицидной активностью по отношению к некоторым бактериям, например, *Escherichia Coli*, *Pseudomonas Aeruginosa* (Бабушкина, 2010; Егоров, 2008, Тимотина, 2019; Шульгина, 2015). Активность серебра в наноразмерном состоянии также распространяется на вирусы (Егорова, 2014).

Наночастицы железа и меди при введении в организм стимулируют механизмы регуляции микроэлементного состава и активность антиоксидантных ферментов. Металлы в виде НЧ, обладающие низкой токсичностью и пролонгированным действием, являются одним из перспективных претендентов на создание нового класса антибактериальных средств (Бабушкина, 2010; Егорова, 2014).

Антибактериальная активность наночастиц может также использоваться в сельском хозяйстве. Добавки наночастиц железа, серебра, меди и цинка в удобрения способствует прорастанию семян перца, синтеза хлорофилла и метаболизму фотосинтезирующих растений. Это положительное влияние осуществляется за счет антимикробной активности

наночастиц, помогающей растениям быть более стойкими к вредителям (Дерябина, 2011; Егорова, 2014; Нечитайло, 2018; Плутахин, 2017; Чурилов, 2009). Такое действие основано на том, что в почве наночастицы постепенно окисляются, создавая на поверхности семян неблагоприятные условия для обитания патогенной микрофлоры (Егоров, 2008).

Также наночастицы металлов используются в качестве стимулятора ростовой активности. Наночастицы металлов и их оксиды увеличивают энергию прорастания, всхожести семян, а также изменяют состав пигментов и продуктов перекисного окисления липидов у пшеницы *Triticum vulgare* и *Triticum Aestivum* (Короткова, 2017; Кудрявцева, 2013; Юрин, 2015; Юркова, 2015). Влияние НЧ на развитие растений может быть дозозависимым. При проращивании семян *Oryza sativa* на среде с Ag НЧ рост корней усиливался, но при повышении концентрации рост замедлялся по сравнению с контролем (Дыгман, 2017). Изменение регистрируемых показателей зависит от типа действующего агента, его концентрации и временных интервалов (Косян, 2017; Юрин, 2015).

По установлению отрицательных воздействий наночастиц были проведены ряд экспериментов с использованием гидробионтов. Тест-объектами служили водоросли *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina* и *Scenedesmus quadricauda*, двухстворчатые моллюски *Unio Tumidus*, плоские черви планарии *Jirardia tigrina* и пресноводные рачки *Daphnia magna*. Критериями для определения токсичности стали: для моллюсков полулетальная концентрация, для рачков – снижение двигательной активности и подавление роста у водорослей. Также говорится, что биологическая активность зависит от структурно-химической характеристики НЧ (Абраменко, 2017; Тодоренко, 2014; Чумаков, 2019, Шилова, 2014).

Данные по действию НЧ на растения неоднозначны. Наблюдаемые эффекты зависят от их физико-химических характеристик, а также от вида растения, на которое они действуют.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Объект исследования

Использование микроводорослей в системе биотестирования дает возможность проследить влияние неблагоприятных факторов на популяцию в целом, а также выявить отдаленные последствия (Абраменко, 2017). В России в качестве тест-объектов при проведении стандартной процедуры биотестирования рекомендованы виды *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. (ГОСТ Р 54496-2011 (ИСО 8692:2004)). С помощью микроводорослей можно определить качество воды, провести диагностику состояния почв, которая помогает определить степень плодородия и токсичность почвы (ГОСТ Р 54496-2011). Также они используются при разработке нормативов ПДК (Филенко, 2007).

Объектом исследования при проведении экспериментов являлись – магнитные наночастицы оксида железа.

Предметом исследования были токсические свойства электростатически стабилизированных водных суспензий магнитных наночастиц (МНЧ) оксидов железа - γ - Fe_2O_3 (маггемит) и Fe_3O_4 (магнетит).

Магнитные наночастицы маггемита были синтезированы в Институте электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (УрО РАН), а стабилизированные суспензии на их основе были получены в Уральском федеральном университете (УрФУ).

Магнитные наночастицы магнетита были синтезированы в Институте физики им. Л.В.Керенского СО РАН (г. Красноярск).

Лабораторные исследования биологической активности наночастиц проводились на базе кафедры Естественных дисциплин Педагогического института Иркутского государственного университета (ЕНД ПИ ИГУ). Период данного исследования – ноябрь 2019 – февраль 2020 годов.

Биологическая активность наночастиц проверялась на лабораторных штаммах, введенных в интенсивную культуру зеленых микроводорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.

Scenedesmus quadricauda относится к ценобиальным хлорококковым водорослям. Встречаются 2- и 4-клеточные ценобии из удлинненно-овальных клеток с закругленными

концами, около $8-36 \times 2.1-12$ мкм диаметром. Краевые клетки одного ценобия имеют по два отогнутых наружу шипа, напоминающие рожки. Они играют роль в поддержании сценедесмуса во взвешенном состоянии. Хроматофор пластинчатой формы, который занимает почти всю полость клетки. В центре его расположен пиреноид. Как и у всех высших растений, в пластидах микроводоросли содержатся хлорофиллы форм а и b, функция которых состоит в аккумуляции энергии солнечного света и использовании ее для образования органических веществ. Одна микроскопическая клетка выполняет все жизненные функции (Царенко, 1990).

При размножении в материнской клетке образуются 2-4 автоспоры, которые при выходе слагаются в ценобии. Сценедесмус быстро размножается, не требователен к условиям обитания, поэтому широко распространена и встречается практически повсеместно. Часто её относят к видам-космополитам (рис. 2.1.).

Рисунок 2.1. *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. (фото Щипцовой Н.П.)



Систематическое положение:

Отдел	Chlorophyta
Класс	Euchlorophyceae
Порядок	Chlorococcales
Семейство	Scenedesmaceae
Подсемейство	Scenedesinoideae
Род	Scenedesmus

Вид

Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bréb.

2.2. Подготовка к исследованиям и измерение

Проведение комплексных исследований возможного токсического действия магнитных наночастиц (МНЧ) оксида железа $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с использованием стандартизированных в настоящее время методик биотестирования:

Методика: ГОСТ Р 54496-2011 (ИСО 8692:2004) на основе *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. С условиями: среда Прата, $t = 28^\circ \text{C}$, 16-часовой в сутки световой режим с освещенностью 3000 лк, начальная плотность посадки около 100 тыс.кл/мл, 72 часовой острый опыт;

Экспериментальные концентрации железа варьировали от 0 (контроль) до 50,0 мг/л (табл. 2.1.):

Таблица 2.1.

Концентрации МНЧ

Маггемит, С (мг/л)	Магнетит, С (мг/л)
0	0
0,4	0,6
2	3
5	7,5
50	15

Действие МНЧ оценивали по степени подавления удельной скорости роста культуры μ ($1/\text{сут}$) в опыте по сравнению с контролем (% от контроля) на момент окончания опыта.

$$\mu = \frac{\text{Ln}\left(\frac{C_t}{C_o}\right)}{t}$$

Рассчитывали по формуле:

где C_t и C_0 – концентрации клеток в экспоненциальной (логарифмической) фазе роста культуры в начале и конце опыта, t – время опыта (3 суток).

Плотность клеток измеряли каждые сутки, с помощью спектрофотометра ПЭ-5300ВИ (Богатырев, 2014).

Построение калибровочной кривой для определения численности клеток водорослей проводят следующим образом. На спектрофотометре определяют соответствующую этой численности клеток оптическую плотность. Для измерения оптической плотности водорослей *Scenedesmus quadricauda* использовались кюветы 10 мм толщиной, длина волны измерения оптической плотности составляла 450 нм.

Калибровочная кривая соответствует определенному устройству, кювету, длине волны и культуре (рис. 2.3.).

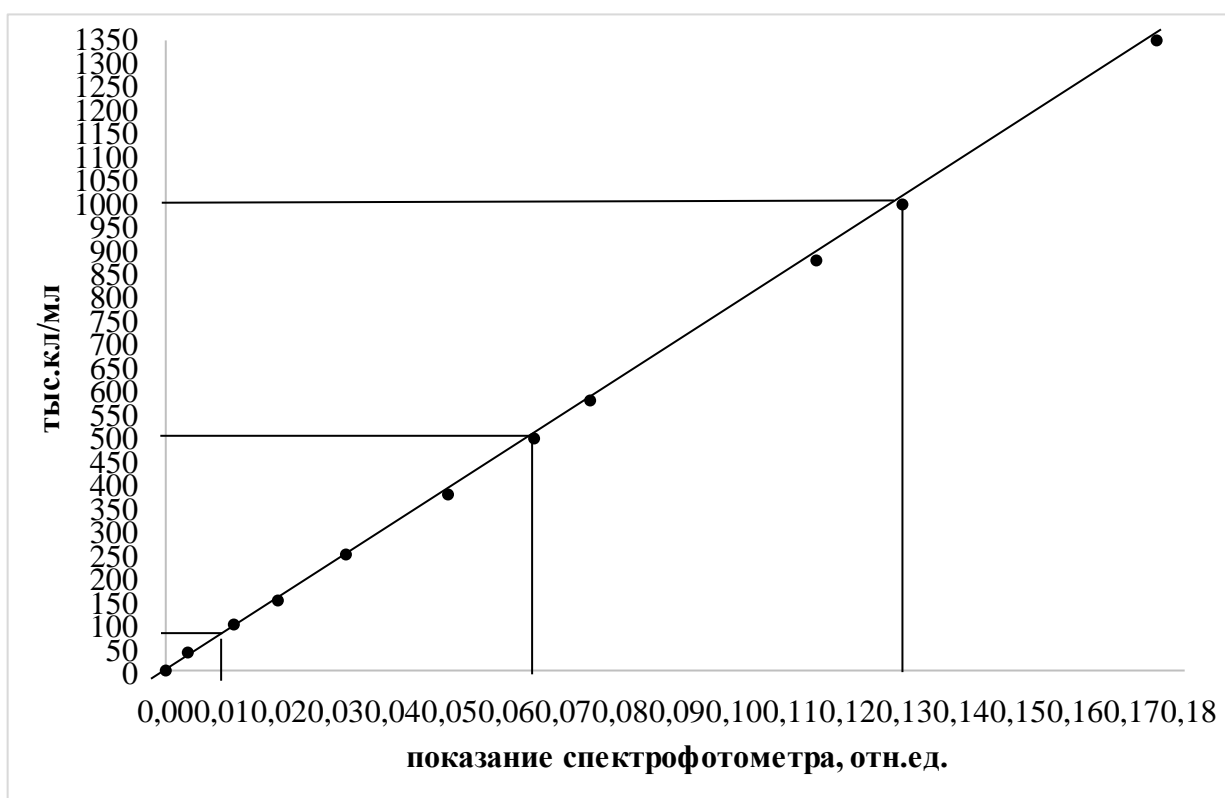


Рис. 2.3. Калибровочная кривая для определения численности клеток *Scenedesmus quadricauda*

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как было показано, в опыте по выращиванию сценедесмус с суспензиями МНЧ маггемита в концентрациях от 0,4 до 50 мг/л, что при концентрациях 0,4 – 5 мг/л при экспозиции от 0 до 48 час, динамика роста микроводорослей примерно одинакова. После 48 час во всех вариантах зафиксирован выход в стадию роста. Это больше видно в вариантах при концентрации 2 и 5 мг/л общего железа. Стимулирующий эффект демонстрируют концентрации железа в 0,4 – 5 мг/л. Через сутки после начала обработки культуры обнаруживается увеличение концентрация клеток. Это действие сохраняется до 72 часов от начала наблюдения. Тогда, как клетки, при той же экспозиции в суспензии 50 мг/л рассматривалась тенденция в стадию гибели после 24 час (рис.3.1.).

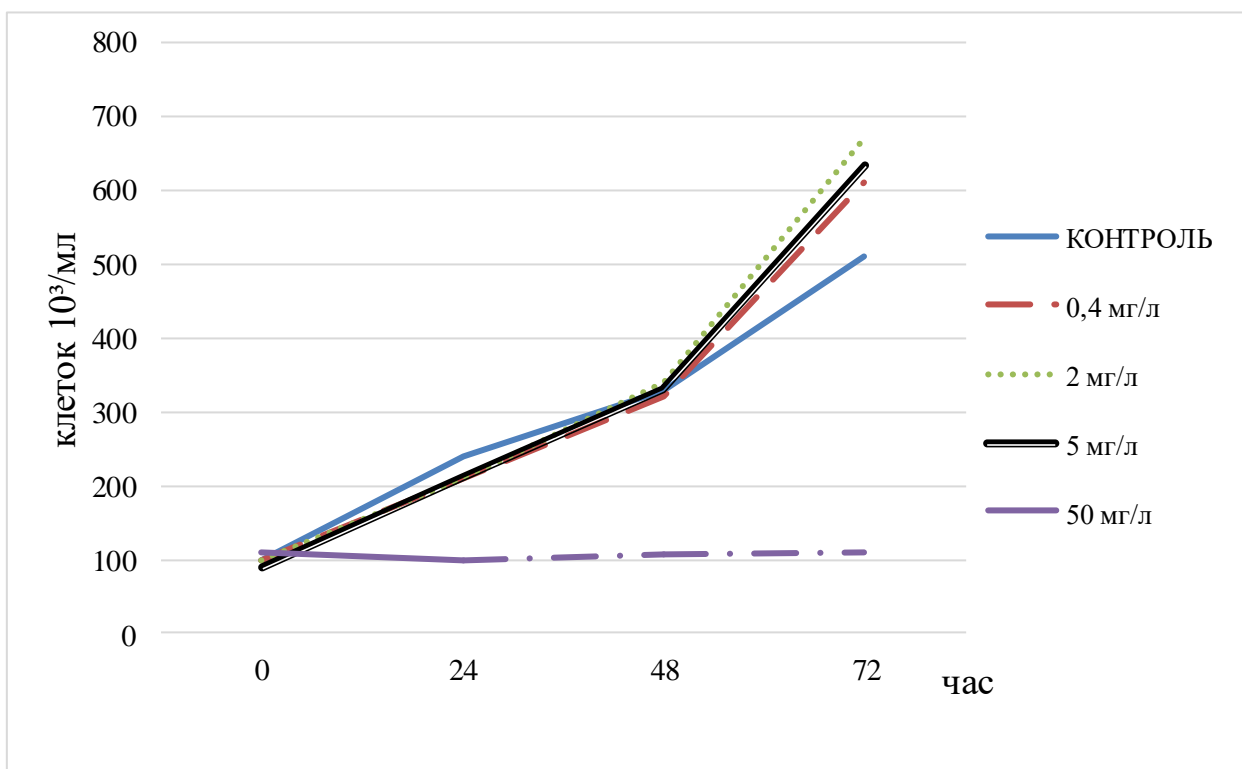


Рис. 3.1. – Динамика роста культуры микроводоросли в опыте с суспензиями МНЧ маггемита

Второй эксперимент состоял из оценки токсичности наночастиц оксида железа – магнетита, на рост культуры *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.

Установлено, что в контроле и при концентрациях 0,6 и 3 мг/л при экспозиции первые сутки, динамика роста культуры одинакова (рис.3.2.). Выражено, что после 24 час во всех вариантах зафиксированы тенденции выхода в стадию роста. Также, эти концентрации оказывают стимулирующий эффект. Через сутки после начала обработки культуры обнаруживается увеличение концентрация клеток. Это действие сохраняется до 72 часов от начала наблюдения.

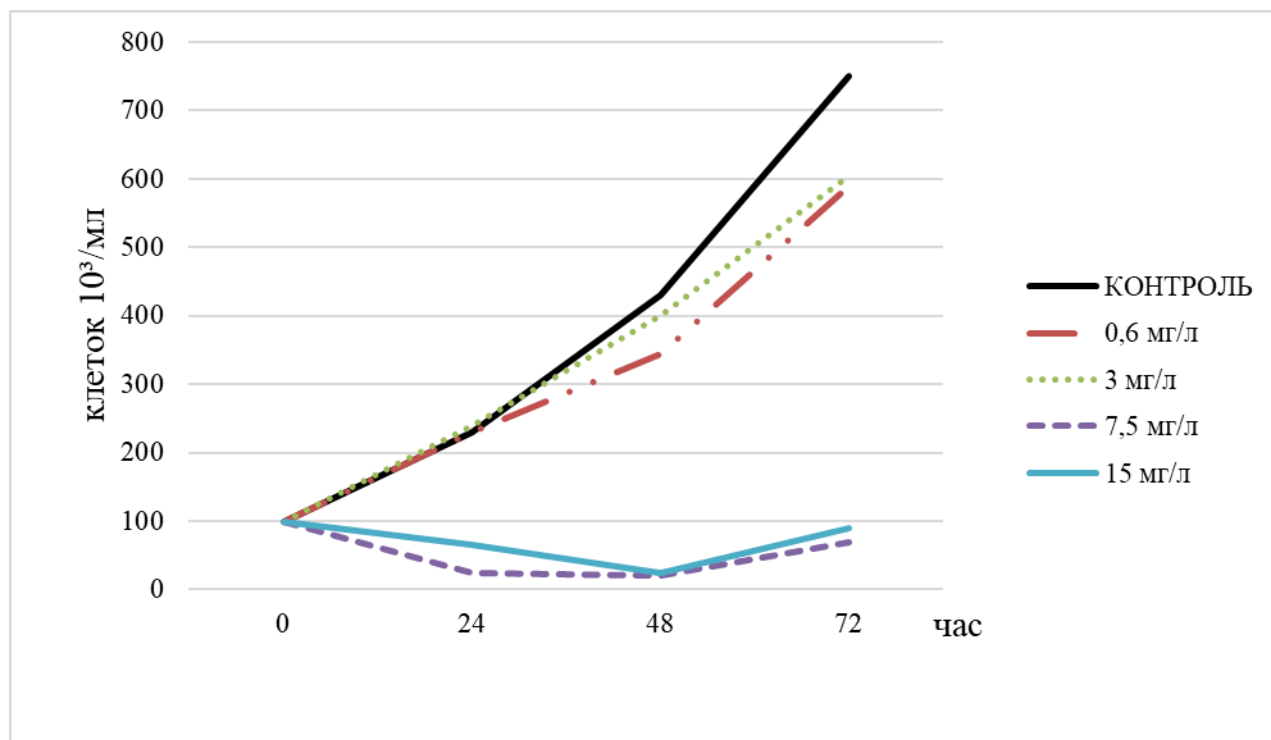


Рис. 3.2. – Динамика роста культуры почвенной микроводоросли в опыте с суспензиями МНЧ магнетита

В результате проведенного эксперимента было показано, что внесение в среду НЧ оксида железа оказывает влияние на изменение численности клеток в культуре: чем выше концентрация, тем больше его отрицательное влияние на рост и размножение клеток водорослей. В контрольных вариантах использовалась среда без внесения солей тяжелых металлов. Как видно из рисунка (рис.3.3.), исследуемая культура устойчива ко всем концентрациям МНЧ в среде.

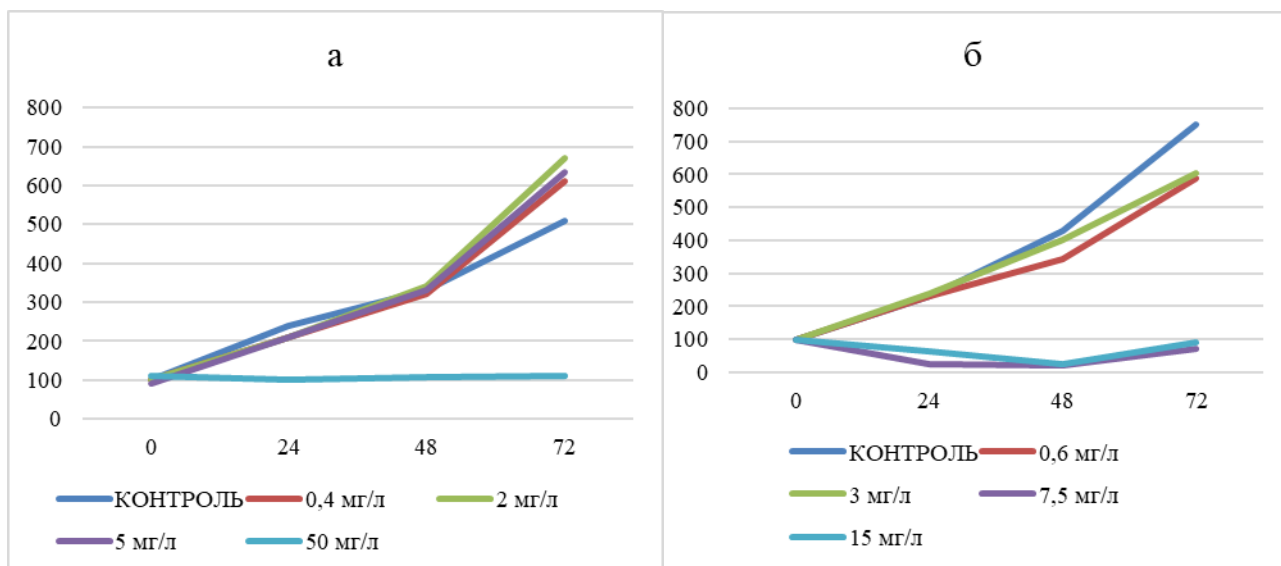


Рис. 3.3. – Динамика роста культуры *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.:
 а) с суспензиями МНЧ маггемита; б) с суспензиями МНЧ магнетита

После 48 час во всех вариантах зафиксированы тенденции выхода в стадию роста. Это более выражено в контрольном варианте и при концентрациях 0,4 – 5 мг/л. Тогда, как при той же экспозиции в суспензии 7,5 и 15 мг/л наблюдается выраженный токсический эффект (рост культуры незначителен) (рис. 3.3.). Наблюдается снижение числа клеток по сравнению с контролем, т. е. данная концентрация является токсичной для изучаемой культуры. При концентрации 50 мг/л такие показания, скорее всего, из-за слипания частиц с микроводорослями.

Стимулирующий эффект показали концентрации железа в 0,4 – 5 мг/л. Через сутки после начала обработки штамма обнаруживается увеличение концентрации клеток. Это действие сохраняется до 72 часов от начала наблюдения. Таким образом, концентрация 50 мг/л характеризуется, как токсичная, 15 и 7,5 мг/л – как умеренно токсичная, а концентрации 0,4 - 5 мг/л оказывают стимулирующий эффект на рост культуры *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.

В результате исследования были рассчитаны величины средней удельной скорости роста ($\mu, ^1/\text{сут}$) на 3 сутки опыта в экспериментах с суспензиями МНЧ маггемита и магнетита составили (табл. 3.1.; табл. 3.2.):

Таблица 3.1.

Влияние концентраций маггемита (мг/л) на μ ($^1/\text{сут}$) водорослей в (% от контроля)

№	Концентрация маггемита (мг/л)	Средняя $\mu, ^1/\text{сут}$	% подавления роста по сравнению с контролем
1	0 - контроль	0,54	0
2	0,4	0,60	0
3	2	0,63	0
4	5	0,65	0
5	50	0,0	99

Таблица 3.2.

Влияние концентраций магнетита (мг/л) на $\mu (^1/\text{сут})$ водорослей в (% от контроля)

№	Концентрация магнетита (мг/л)	Средняя $\mu, ^1/\text{сут}$	% подавления роста по сравнению с контролем
1	0 - контроль	0,67	0
2	0,6	0,59	12
3	3	0,60	11
4	7,5	0,11	84
5	15	0,03	96

В результате исследований было определено, что на относительно бедной элементами минерального питания среде Прата культура *сденедесмуса* может находиться на протяжении 3 суток в экспоненциальной фазе, проявляя относительно высокую удельную скорость роста: $\mu = 0,54$ и $0,67 ^1/\text{сут}$.

В опыте по исследованию токсического действия наночастиц маггемита при концентрации 50 мг/л удельная скорость роста ($\mu, ^1/\text{сут}$) водорослей составила $\mu = 0,00 ^1/\text{сут}$, что говорит о ее токсичности.

В эксперименте с НЧ магнетита при концентрациях 7,5 и 15 мг/л удельная скорость роста водорослей составила 0,11 и 0,03 $^1/\text{сут}$ соответственно. Это означает, что концентрации 7,5 и 15 мг/л умеренно токсичны.

ГЛАВА 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

4.1. Основы организации исследовательской деятельности, характеристика видов

Целью современного образования является воспитание интеллектуально развитой личности, которая стремится к саморазвитию. Планируя свою работу, педагоги решают задачи развития школьника как субъекта образовательного процесса. Для успешного достижения результатов необходимо использовать в процессе обучения, воспитания и развития активных методов, которые позволяют организовать творческую работу школьника и развитие исследовательской компетенции (Максимова, 2018).

Термин «учебно-исследовательская деятельность», не имеет однозначного толкования, поэтому ее рассматривают как:

- разновидность деятельности учащихся, которая связана с решением как творческих, так и исследовательских задач. В ней присутствуют основные этапы, характерные для научных исследований; она включает в себя постановку проблемы, изучения теории, соответствующей темы, подбор методик исследования и их практическое освоение, наличие собственного собранного материала, проведение анализа и обобщения, научные комментарии и свои выводы (Валеева, 2017);

- вид деятельности, которая характеризуется профильной направленностью, также она предопределяет возможность повышения эффективности профессионального самоопределения с точки зрения соответствия особенностям личности, способствующую развитию потребностей познания, а также удовлетворению интересов учащихся (Валеева, 2017);

Учебно-исследовательская деятельность представляет собой совместную деятельность преподавателя и школьника, в ходе которой ученик осваивает теоретические и эмпирические методы научного познания с помощью решения учебных познавательных и исследовательских задач.

У научно-исследовательской деятельности есть положительные и отрицательные стороны. Например, она пробуждает интерес к предмету, вдохновляет к поиску, позволяет глубже осмыслить и творчески переработать данные и полученную информацию, развивает аналитико-прогностические характеристики личности, позволяет производить

развитие личности учащихся по персональной образовательной траектории, сформировывает ценностные качества личности, в процессе работы над исследованием привлекаются родители, что увеличивает связь школы и семьи. Трудности, связанные с организацией исследований, включают в себя низкую познавательную активность студентов, отсутствие возможности ведения исследовательской деятельности в организации, недостаточное формирование учебной мотивации. В то же время следует отметить, что школы слабо оснащены экспериментальным и современным информационным оборудованием, несоразмерный уровень рассматриваемой темы с существующим уровнем развития познавательных способностей учащихся, что может вызвать «обратный эффект» (Обухов, 2015).

В структуру учебно-исследовательской деятельности входят следующие компоненты. Целеполагание и планирование, в которых происходит подготовка преподавателя к проведению обучающимися учебного исследования. Следующие компоненты, собственно содержательно-процессуальный, включающий в себя подготовку обучающихся и исследование выбранного объекта.

Подготовка обучающихся к проведению исследования, важный этап, который включает в себя первичное изучение объекта, ознакомление со средствами исследования, составление плана работы, выбор методов. Самостоятельное изучение школьником объекта исследования, предполагает сбор доступного материала об объекте, а также систематизацию и обобщение. Без самостоятельной работы учебная деятельность невозможна.

Само исследование выбранного объекта выполняется по следующему порядку: обнаружение проблемы; формулирование гипотезы; обозначение задач; решение задач исследования; оценка, анализ и обобщение полученных результатов; формирование выводов; подготовка отчета по проведенному исследованию; предоставление отчета преподавателю; выступление с докладом на конференции (Валеева, 2017).

Рассмотрим основные виды учебно-исследовательской деятельности:

- проблемно-реферативное исследование, которое включает: аналитическое сравнение данных из различных литературных источников с целью выделения проблемы и вариантов ее решения;

- аналитико-систематизирующее исследование: наблюдение, фиксация, анализ, синтез, систематизация количественных и качественных показателей изучаемых процессов и явлений;
- диагностико-прогностическое исследование направлено на изучение, отслеживание, объяснения и прогнозирования качественных и количественных изменений в изучаемых системах, явлениях, процессах;
- изобретательно-рационализаторское исследование предполагает усовершенствование, проектирование и создание устройств, механизмов, приборов;
- экспериментально-исследовательская деятельность включает проверку предположения о подтверждении или опровержении результата;
- проектно-поисковая деятельность направлена на поиск, разработку и защиту проекта - особая форма нового, где целевой установкой являются способы деятельности, а не накопление и анализ фактических знаний.
- описательное исследование - наблюдение и качественное описание какого-либо явления.

4.2. Организация работы школьников над исследовательской деятельностью по биологии и химии в свете требований ФГОС на примере изучения биологической активности ионов железа

При обеспечении преемственности между общим и профессиональным образованием возникает потребность в интеграции химического содержания с другими естественно научными предметами, в данном случае с биологией. Это может реализовываться путем интеграции знаний по химии и биологии при объяснении химических свойств веществ и их биологической активности, использование химических (экспериментально теоретических) задач с межпредметным (химико-биологическим) содержанием (Максимова, 2016).

В педагогике интеграция является процесс формирования связей между структурными компонентами содержания в рамках определенной системы образования с целью установления целостного представления о мире. Применение межпредметного материала способствует взаимному переносу биологических и химических знаний, а также

их лучшему усвоению и применению (Петунин, 2017).

Перед учителем биологии-химии, по ФГОС, стоят предметные, метапредметные и личностные задачи, при достижении которых, у обучающихся должны сформироваться предметные знания, способности к саморазвитию и личностному самоопределению.

Приоритетным направлением в обучении биологической активности ионов железа в деятельности учителя будет становиться воспитание творческой инициативы учащихся. Для этого для изучения следует использовать такие методы, как наблюдения и исследования (Валеева, 2017).

Исследование по данной теме, потребует много времени, поэтому многие работы следует выполнять во внеурочное время.

Тема исследовательской деятельности подбирается предварительно до оформления и защиты. Она должна быть интересной самому школьнику и актуальной. Это определяет продолжение исследования данной темы, а также включение учащегося в активную просветительскую работу.

Направление исследования экспериментальной темы предполагает проведение собственных наблюдений, экспериментов с последующим анализом. Правильно поставить цель и выбрать задачи для достижения цели исследования. Сбор и обработка информации теоретической темы исследования предусматривают работу с научно популярной литературой. Анализ результатов исследования – это заключительная часть проекта. В ней учащийся излагает свои выводы по проблеме, опираясь на собственные проделанные результаты опыта и данные, которые взял из литературных источников. Этот этап, в начальной стадии разработки исследования обычно вызывает затруднения и потребуются необходимость объяснения и помощь руководителя (табл.4.1.; табл.4.2.) (Валеева, 2017).

Таблица 4.1.

Индивидуальный план учителя по организации исследовательской работы школьника по теме: Изучение биологической активности ионов железа

№	Дата	Вид работы
1		Определение темы исследования
2		Подбор изучаемой литературы
3		Подбор оборудования для проведения практической части
4		Проведение инструктажа по ТБ учащемуся. Химическая посуда и оборудование

5		Проведение консультации
6		Проведение теоретического занятия «Общая характеристика отдела зеленые водоросли»
7		Проведение теоретического занятия «Токсичные металлы и их влияние на живые организмы»
8		Постановка эксперимента по влиянию ионов двух- и трехвалентного железа в составе сульфатов на рост культуры микроводорослей
9		1) Снятие результатов исследования 2) Обсуждения полученных результатов
10		Подготовка к написанию исследовательской работы для участия в научно-практической конференции
11		Консультация по подготовке доклада
12		Участие в научно-практической конференции

Таблица 4.2.

План проведения научно – исследовательской работы школьника по теме: Изучение биологической активности ионов железа

	Вид работы	Дата
1.	Определение темы, целей, задач, объекта, предмета исследования	
2.	Знакомство правилами ТБ при организации исследовательской работы	
3.	Теоретическое занятие на тему: «Общая характеристика отдела зеленые водоросли»	
4.	Теоретическое занятие на тему: «Токсичные металлы и их влияние на живые организмы»	
5.	Подбор и знакомство с оборудованием	
6.	Практическое занятие № 1. Постановка эксперимента.	
7.	Практическое занятие № 2. Снятие результатов и обработка полученных данных	
8.	Оформление результатов исследования	
9.	Консультация №1. Подбор наглядных средств для доклада	
10.	Подготовка доклада, презентации	

11.	Доклад (факультатив, школьная, городская, региональная, всероссийская научно – практическая конференция)	
12.	Участие в научно-практической конференции	
13.	Рефлексия	

Примерная структура научно-исследовательской работы школьника на тему:

Изучение биологической активности ионов железа

Во введении описывается актуальность данной научно-исследовательской темы. Говорится, о том, что в настоящее время накоплено недостаточно информации токсического действия ионов железа на живые организмы, а именно водоросли. Поэтому проведение экспериментов необходимо для полноценной оценки биологических рисков МНЧ.

Цель исследовательской работы: изучение биологической активности ионов железа.

Для достижения указанной цели решаются следующие **исследовательские задачи**:

1. Знакомство с литературой по теме исследования
2. Провести экспериментальное исследование особенностей роста культур зеленых микроводорослей в условиях варьирования концентраций ионов двух- и трехвалентного железа в составе сульфатов
3. Провести анализ и интерпретацию результатов эксперимента
4. Выступить с докладом на научно-исследовательской конференции

Объектом исследования являются ионы железа.

Предмет – биологическая и химическая активность ионов железа.

Методы исследования: теоретические (поиск и изучение литературы, анализ и синтез данных), эмпирические (эксперимент, сравнение, анализ), математические (статистический анализ, построение графиков).

В литературном обзоре описана краткая характеристика ионов железа Fe^{2+} и Fe^{3+} , их строение, методы получения, нахождение в природе, физические и химические свойства, а также биологические эффекты ионов на живые организмы

В главе материалы и методы исследования, говорится о том, что биологическая активность ионов железа проверялась на культурах зеленых микроводорослей: *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. Проведение исследований возможного токсического действия с использованием стандартизированных методик биотестирования.

В заключении отражена краткая формулировка результатов работы, что обзор литературы показал противоречивые результаты влияния ионов железа на живые

организмы. Практически не изучены ответные реакции модельных ферментных систем в присутствии наночастиц. Проведенные исследования также не дали достоверных результатов. Все эти вопросы требуют дальнейшего изучения.

Пример разработки практического занятия

Тема исследовательской работы: «Изучение биологической активности ионов железа»

Цель:

Оценить токсичность ионов двух- и трехвалентного железа в составе сульфатов на рост культур микроводорослей

Задачи:

1. Поставить эксперимент по выращиванию накопительной культуры микроводорослей в условиях варьирования концентраций оксида железа
2. Снять результаты эксперимента
3. Провести анализ и интерпретацию результатов эксперимента

Оборудование:

конические плоскодонные колбы 250 мл – 6 шт.;

накопительная культура водорослей;

микроскоп; предметные стекла;

питательные среды.

Материалы и методы:

Лабораторные исследования будут проводиться по общепринятым альгологическим методам.

Объектом исследования будет являться тест-культура зеленой водоросли сценедесмус

Ход работы:

Изучить токсические свойства водных суспензий оксида железа Fe_2O_3 . Экспериментальные концентрации железа будет варьироваться от 0 (контроль) до 50 мг/л общего железа.

Для выращивания водорослей мы будем применять жидкую среду Прата с добавлением оксида железа (опытные варианты) и без него (контроль). Эксперимент проводится в трех-кратной повторности.

Продолжительность эксперимента составит семь суток, культивирование водорослей будет вестись в условиях постоянного освещения, при постоянной температуре.

Выращивание культуры будет производиться в конических колбах объемом 250 мл. В ходе эксперимента учитываемым подавления удельной скорости роста культуры μ ($1/\text{сут}$). Изменение плотности культуры рассчитать каждые сутки, подсчет числа клеток будет осуществляться в камере Горяева.

ВЫВОДЫ

1. В данном исследовании была оценена активность наночастиц оксида железа, как возможных индукторов токсического эффекта.
2. Концентрации 0,4, 2, 5 мг/л НЧ маггемита, 0,6, 3 мг/л НЧ магнетита показывают стимулирующий эффект на рост культуры тест-объекта.
3. Концентрация наночастиц маггемита 50 мг/л характеризуется, как токсичная, магнетита 7,5 и 15 мг/л – как умеренно токсичные.
4. Ни одна из использованных нами стандартизированных к настоящему времени методик биотестирования не дала возможности выявить достоверно токсического действия магнитных наночастиц магнетита и маггемина на рост культур микроводорослей в остром опыте;
5. Полученные результаты следует считать предварительными, так как для их подтверждения требуется продолжение экспериментальных исследований с большей статистикой при расширенной вариабельности параметров. Дальнейшее изучение токсичности наночастиц металлов является основой исследований в области токсикологии и в его новом направлении - нанотоксикологии.
6. При обеспечении преемственности между общим и профессиональным образованием возникает потребность в интеграции знаний по химии и биологии при объяснении химических свойств веществ и их биологической активности, использование химических (экспериментально теоретических) задач с межпредметным (химико-биологическим) содержанием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаева Л.Ф. Наночастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра/ Л.Ф. Абаева, В.И. Шумский, Е.Н. Петрицкая, Д.А. Рогаткин// Альманах клинической медицины. — 2010. — № 22. — С 10 —15.
2. Абраменко Н.Б. Исследование и моделирование токсического действия наночастиц серебра на гидробионтах: дис. канд. хим. наук: 02.00.04./ Н.Б. Абраменко. — М., 2017. — С. 18 —21, 41 — 44.
3. Андриевский Р.А. Наноструктурированные материалы/ Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. — М.: Академия, 2005. — С. 12— 103.
4. Андрусишина И.Н. Наночастицы металлов: способы получения, физико-химические свойства, методы исследования и оценка токсичности/ И.Н. Андрусишина// Проблемы токсикологии. — 2011. — № 3. — С 5 —14.
5. Анциферова И.В. Источники поступления наночастиц в окружающую среду/ И.В. Анциферова. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический, 2012. — С. 54— 66.
6. Бабушкина И. В. Антибактериальное действие наночастиц железа и меди на клинические штаммы *Pseudomonas Aeruginosa*/ И.В. Бабушкина, Г.В. Коршунов, Д.М. Пучиньян// ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. — 2010. — № 4. — С. 124 —127.
7. Бабушкина И.В. Антибактериальное действие наночастиц меди/ И.В. Бабушкина, Е. Г. Чеботарева, В.Б. Бородулин. — Саратов: ФГУ «СарННИИТО», 2010. — С. 136— 138.
8. Балоян Б.М. НАНОМАТЕРИАЛЫ. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения/ Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов. — М.: «ДУБНА», 2007. — С. 2— 107.
9. Биотестирование: методические указания по выполнению лабораторных работ/ Сост.: С.Д. Борисова. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. — С. 25 — 31.
10. Богатырев В.А. Лабораторная диагностическая система токсичности наноматериалов/ В.А. Богатырев// Наука — образованию. — 2014. — № 6. — С. 3 —14.
11. Валеева О.А. Технологическое обеспечение организации учебно-исследовательской деятельности обучающихся: дис. канд. пед. наук. — Саратов, 2017. — С. 25 — 55.

12. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. — М.: изд-во Машиностроение — 1, 2013. — 112 с.
13. ГОСТ Р 54496-2011 (ИСО 8692:2004) Национальный стандарт Российской Федерации. Вода. Определение токсичности с использованием зеленых пресноводных одноклеточных водорослей; введ. 2013-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 2013.
14. Гусев А. Наноматериалы и нанотехнологии/ А. Гусев// Газ. наука Урала — 2002. — С. 8 — 9.
15. Дерябина Т.Д. Оценка безопасности ионов, нано и микрочастиц железа и меди в тесте прорастания семян *Triticum Aestivum*/ Д.Т. Дерябина// ВЕСТНИК ОГУ. — 2011. — №12. — С. 82 — 84.
16. Дзидзигури Э. Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нано - технологии: учеб. пособие / Э. Л. Дзидзигури, Е. Н. Сидорова. — М: МИСиС , 2012. — С. 23 — 28.
17. Дыгман Л.А. Взаимодействие растений с наночастицами благородных металлов/ Л.А. Дыгман, С.Ю. Щеголев// СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ. — 2017. — Т. 52, №1. — С. 13 — 24.
18. Егорова Е.М. Биологические эффекты наночастиц металлов/ Е.М.Егорова, А.А.Кубатиев, В.И.Швец. — М.: Наука, 2014. — С. 204. — 293.
19. Егоров Н.П. Разработка и проведение экспериментальной оценки эффективности применения в растениеводстве новых видов удобрений, полученных с использованием нанотехнологий/ Н.П. Егоров, О.Д. Шафронов, Д.Н. Егоров// Вестник Нижегородского ун-те им. Н.И. Лобачевского. — 2008. — №6. — С. 94-99.
20. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию/ Н. Кобаяси. — Пер.с японск.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — С. 11— 29.
21. Ковалева Н.Ю. Проблемы безопасности наноматериалов: нанобезопасность, нанотоксикология, наноинформатика/ Н. Ю. Ковалева, Е. Г. Раевская, А. В. Рошин// Химическая безопасность.— 2017. — № 2. — С. 44 — 87.
22. Конюхов Ю.В. Разработка научно-технологических основ получения нанопорошков из техногенного сырья и модифицирования материалов с применением энергомеханической обработки: дис. канд. тех. наук. — М., 2018. — С. 14 — 36.
23. Короткова А.М. Морфофизиологические измерения у пшеницы (*Triticum vulgare* L.) под влиянием наночастиц металлов (Fe, Cu, Ni) и их оксидов (Fe₃O₄, CuO, NiO)/ А.М. Короткова, С.В. Лебедев, Ф.Г.

Каюмов//СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ.— 2017. — № 1. — С. 172 — 182.

24. Косян Д.Б. Оценка влияния ультрадисперсных частиц железа и его оксидов с использованием одноклеточных тест-систем/ Д.Б. Косян, Е.А. Русакова, О.Ю. Сипайлова// Вестник мясного скотоводства.— 2017. — № 2. — С. 9 — 16.

25. Кудрявцева Е.А. Влияние различных форм железа на прорастание семян *Triticum Aestivum*/ Е.А. Кудрявцева, Л.В. Анилова, С.Н. Кузьмин// ВЕСТНИК ОГУ. — 2013. — № 6. — С. 46 — 48.

26. Лысцов В.Н. Проблема безопасности нанотехнологий/ В.Н. Лысцов, Н.В. Мурин. — М.: МИФИ, 2007. — С. 8 — 20.

27. Максимова Е.Н. Из опыта организации биологической научно-исследовательской работы школьника/ Е.Н. Максимова, Е.Ю. Борисенко, И.А.Кирилова//Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Педагогика. — 2018. — № 3. — С. 129 — 139.

28. Максимова Н.Е. Методические подходы к интеграции обучения химии и биологии/ Н.Е. Максимова// Санкт-Петербургский образовательный вестник. — 2016. — № 1. — С. 43 — 46.

29. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления от 10.10.2014// Токсикологические методы контроля. — М.: ФБУ «ФЦАО», 2014. — 36 с.

30. Михайлов М. Д. Химические методы получения наночастиц и наноматериалов / М. Д. Михайлов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — С. 16 —34.

31. Моргалёв Ю.Н. Основы безопасности при обращении с наноматериалами/ Ю.Н. Моргалёв, Т.Г. Моргалёва, Н.С. Хоч. — Томск: Томского гос. ун-та, 2010. — С. 10 — 48.

32. Назаренко О. Б. Формирование наночастиц в условиях электрического взрыва проводников / О. Б. Назаренко, Д. В. Тихонов// М.: Изд-во Томского политех. ун-та, 2008. — С. 3 — 5.

33. Нечитайло Г.С. Влияние наночастиц железа, цинка, меди на некоторые показатели роста растений перца / Г.С. Нечитайло, И.П. Ольховская, Н.Н. Глущенко// Российские нанотехнологии. — 2018. — № 3–4. — С. 58.

34. Обухов А.С. Развитие исследовательской деятельности учащихся. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Национальный книжный центр, 2015. — 280 с.
35. Петунин О.В. Способы межпредметной интеграции школьных естественнонаучных дисциплин/ О.В. Петунин// Вестник КемГУ. Серия: Гуманитарные и общественные науки. — 2017. — № 2. — С. 32 — 35.
36. Пилигаев А.В. Выделение и изучение свойств штаммов микроводорослей, продуцирующих липиды, и их биокаталитическая переработка в биодизельное топливо: дис. канд. пед. наук. — Новосибирск, 2018. — 155 с.
37. Плутахин Г. А. Интенсификация культивирования хлореллы с использованием наночастиц железа/ Г.А. Плутахин, Н.Л. Мачнева, Н.Н. Трохимчук// Научный журнал КубГАУ. — 2017. — №126(02). — С. 2 —13.
38. Принципы и методы экологической токсикологии/ под ред. Д.Б. Гелашвили. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. — С. 34 — 47, 58, 174 — 179.
39. Процессы наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии/ сост., ред. Д. Л. Горшко. — СД. Ф. 3. — 2012. С. 13 — 14
40. Ситникова В.Е. Наночастицы в медицине и биотехнологии: Учебное пособие/ В.Е. Ситникова, М.В. Успенская, Р.О. Олехнович. — СПб.: Ун-т ИТМО, 2018. — 164 с.
41. Спиркина Н.Е. Исследование культуры зеленой микроводоросли *Monoraphidium arguatum* как нового тест-объекта для оценки качества водной среды: дис. канд. биол. наук. — М., 2016. — С. 47 — 124.
42. Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. — М.: КомКнига, 2006. — С. 37— 43.
43. Тимотина М. Влияние наночастиц оксида железа на рост и выживаемость грамотрицательной бактерии *Escherichia coli*/ М. Тимотина, А. Арутюнян// СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ СНО ЕГУ. — 2019. — № 1. — С. 169—172.
44. Тодоренко Д.А. Изучение токсичности сульфата меди и наночастиц серебра с использованием флуоресценции микроводорослей *Scenedesmus quadricauda*/ Д.А. Тодоренко, Д.Н. Маторин, А.А. Алексеева// Вестник РУДН. — 2014. — № 1. — С. 25—29.
45. Тодоренко Д.А. Характеристики световых реакций фотосинтеза при воздействии токсических веществ: дис. канд. биол. наук. — М., 2016. — С. 47 — 57.

46. Филенко О.Ф. Основы водной токсикологии/ О.Ф. Филенко, И.В. Михеева — М.: Колос, 2007. — 144 с.
47. Филенко О. Ф. Биологические методы в контроле качества окружающей среды/ О. Ф. Филенко// Экологические системы и приборы. — 2007. — №6. — С. 18 — 20.
48. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР/ П.М. Царенко. — Киев: «Наука Думка», 1990. — 144 с.
49. Чумаков Д.С. Исследование цитотоксичности ультрамалых фосфониевых золотых наночастиц с использованием культур растительных и животных клеток/ Д.С. Чумаков, Т.Е. Пылаев, Е.С. Авдеева// РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ. — 2019. — № 3 — 4. — С. 81—92.
50. Чурилов Г.И. Влияние нанопорошков железа, меди, кобальта в системе почва – растение / Г.И. Чурилов// ВЕСТНИК ОГУ. — 2009. — №12. — С. 147—150.
51. Шилова Н.А. Влияние тяжелых металлов на представителей пресноводного фито- и зоопланктона в условиях засоления: дис. канд. биол. наук. — Саратов, 2014. — С. 13 — 104.
52. Шульгина Т.А. Изучение антимикробных свойств антидисперсных систем на основе наночастиц серебра и меди и обоснование перспектив их использования: дис. канд. биол. наук. — Саратов, 2015. — С. 46 — 77.
53. Юрин В.М. Наноматериалы и растения: взгляд на проблему/ В.М. Юрин, О.В. Молчан// Труды БГУ. — 2015. — №1. — С. 9 — 21.
54. Юркова И.Н. Влияние наночастиц селена и селенита натрия на рост и развитие растений пшеницы/ И.Н. Юркова, А.В. Омельченко// Биология и химия. — 2015. — №3. — С. 99 — 106.