



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КАФЕДРА ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ И ФИЗИОЛОГИИ

**Анатомо-морфологические и физиологические эффекты  
воздействия УФ-радиации на комнатные растения**

**Выпускная квалификационная работа по направлению  
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями)**

**Направленность программы бакалавриата  
«Биология. Безопасность жизнедеятельности»**

**Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:  
71 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована  
«01» июня 2020г.  
и.о. зав. кафедрой общей  
биологии и физиологии  
Ефимова Н.В.

Выполнила:  
Студентка группы ОФ-501/066-5-1  
Устюгова Полина Владимировна

Научный руководитель:  
д.п.н., доцент  
Похлебаев Сергей  
Михайлович

Челябинск

2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 . ХАРАКТЕРИСТИКА УФ-СПЕКТРА И ЕГО ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ.....	7
1.1. Механизмы защиты и устойчивости растений.....	7
1.2. Особенности действия УФ-спектра на биологические объекты.....	9
1.3. Способы защиты и надёжность растительных организмов.....	12
1.4. Влияние УФ-радиации на содержание фотосинтетических пигментов <i>in vivo</i> .....	13
Выводы по первой главе.....	17
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	19
2.1. Организация исследования.....	19
2.2. Методы исследования ответных реакций листьев комнатных растений на УФ-излучение как природный стресс-фактор.....	21
2.3. Методы математико-статистической обработки результатов исследования.....	24
Выводы по второй главе.....	25
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	26
Выводы по третьей главе.....	39
ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ БИОЛОГИИ.....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Наряду с современным системным подходом все биологические системы, в том числе начиная с клетки и завершая биосферой, имеют отличительную особенность, а именно, обладают свойствами целостности, относительной устойчивости, а также способностью к адаптации по отношению к внешней среде, развитию, самовоспроизведению и эволюции, над этим вопросом работали такие авторы, как: Э. С. Бауэр, А. И. Опарин, Т. Уотермен, Ф. Энгельс, В. И. Вернадский, Б. Л. Астауров, С. С. Шварц, П. К. Анохин, А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов, И.И. Шмальгаузен, Г. А. Югай. В соответствии с изложенным подходом, предусматривается изучение совокупности всех элементов, которые создают и формируют целостный биологический объект, и механизмов их взаимодействия друг с другом и окружающей средой.

Экофизиологическая проблема жизнедеятельности растений, а также основные понятия и положения о стрессе были разработаны Г. Селье. В лексике прочно закрепился термин «стресс» и он был включен в понятийный аппарат фитофизиологии из медицинской науки. По мнению Г. Селье, «стресс» – совокупность всех неспецифических изменений, возникающих в организме под влиянием любых неблагоприятных и повреждающих факторов (стрессоров) [22].

Под стрессом понимают "напряженное" состояние растительного организма во время формирования в нем всеобъемлющей защитной реакции на разнообразные воздействия как внешних, так и внутренних факторов среды. Однако, понятие «стресс» в физиологии растений используют неоправданно широко и часто весьма вольно.

Реакция клеток растительного организма и организмов в целом на условия окружающей среды зависит от дозы. Термин «доза» представляет собой произведение величины фактора на время его действия. Живые объекты и их ответное действие на возрастание дозы стресс-фактора не

является однообразной. Считают, что общий характер реакции живой системы передают либо двухфазные (правило Арндта-Шульца), либо трехфазные (парадоксальная зависимость) дозовые кривые. Двухфазная кривая обозначает то, что с ростом дозы агента предшествующий сначала действует как фактор, стимулирующий жизнедеятельность биологического объекта, а затем как повреждающий, вызывая угнетение жизненных функций и смерть организма как живой системы. Активизирующие дозы часто положительно воздействуют на рост и развитие растений (явление гормезиса) и их принято называть малыми. Трехфазная кривая реагирования означает, что при дозах, меньше стимулирующих (малых), возможно и повреждение системы.

**Актуальность исследования:**

– изучение адаптационных механизмов к разнородным стресс-факторам является в настоящее время одним из первенствующих направлений экофизиологии. Усиление антропогенной нагрузки на биосферу может привести не только к появлению "искусственно" созданных стресс-факторов, но и к существенному увеличению дозы естественных, после чего они могут оказать стрессовое влияние на организм. Один из таких негативных направлений обусловлен истощением озонового слоя, что существенно повысит дозу УФ-радиации и этот естественный мотив может стать стрессовым для всех живых объектов, в том числе и для растений.

**Цель работы:**

– выявить анатомо-морфологическое и физиологические эффекты комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам, на разные дозы УФ-излучения как стресс-фактора.

**Задачи:**

1. Изучить реакции листьев растений различных экологических групп на возрастающие дозы УФ-радиации на основе обзора литературных источников.

2. Определить содержание основных и дополнительных пигментов в листьях изучаемых растений спектрофотометрическим методом до и после облучения интактных растений и после облучения.
3. Произвести статистическую обработку полученных данных.
4. На основании полученных результатов и теоретического материала сделать заключение и выводы об ответных реакциях разных видов растений на различные дозы облучения.

**Объект исследования:**

– пигменты комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам.

**Предмет исследования:**

– фотосинтетические пигменты как «маркеры» анатомо-морфологических и физиологических изменений комнатных растений различных экологических групп:

1. Герань душистая (*Pelargonium odoratissimum*) – ксеромезофит.
2. Герань зональная (*Pelargonium zonale*) – мезофит.
3. Хлорофитум пучковатый (*Chlorophytum comosum*) – мезофит.
4. Традесканция белоцветковая (*Tradescantia albiflora*) – мезогигрофит.
5. Бегония всегдацветущая (*Begonia semperflorens*) – мезогигрофит.

При поиске указанных выше вопросов и находя на них ответы при постановке данного исследования, я исходила из общебиологических положений. Ответные реакции растения и их механизмы подверглись естественному отбору при изменении условий окружающей среды в процессе эволюции и поэтому их число не должно быть превышено. Очевидно, что если условия существования организма варьируют в пределах толерантной области жизнедеятельности всей живой системы, то это не нарушает специализированных механизмов контроля каталитического потенциала клетки, основанного на действии регуляторных ферментов. После влияния условий окружающей среды, возникающие в организме отклонения компенсируются

гомеостатическими механизмами. Далее происходит удаление воздействия, после чего система быстро возвращается в исходное состояние без явных «остаточных» явлений.

Когда реакция выходит за границы толерантной области, то для поддержания интактности живой системы внезапные адаптивные перестройки в области возможных гомеостатических механизмов оказываются неудовлетворительными. Срабатывает более «высокий» механизм адаптации, связанный с рецессией одних и активацией других генов. Этот приспособительный акт занимает больше времени, чем гомеостатические перестройки. На восстановление предсуществующих программ генома клетка затрачивает часы и даже дни.

Поэтому в исследовании пытались выяснить, какие изменения в клетке обеспечивают поддержание её нативности в то время, когда внешнее воздействие таково, то гомеостатические механизмы уже недостаточны для поддержания жизнедеятельности, а новые возникшие генетически зависимые приспособительные преобразования ещё не завершены из-за медленной реализации.

Одно из вероятных предположений состоит в том, что на этой фазе реакции клетка переходит в новое дискретное стационарное состояние повышенной резистентности. Экспериментальное обоснование такого предположения рассмотрится ниже, а сейчас необходимо подчеркнуть, что именно эту фазу ответа клетки можно считать фазой стресса.

Полученные результаты могут иметь значение для исследователей, занимающихся изучением механизмов адаптации растительных организмов к различным стресс-факторам.

Данные квалификационной работы могут быть использованы учителями в школе при проведении внеклассного мероприятия «Ботанический турнир» и при разработке факультативных занятий, например, по теме «Фотосинтез и его регуляция».

# ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УФ-СПЕКТРА И ЕГО ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЯ

## 1.1 Механизмы защиты и устойчивости растений

В постоянно варьирующих условиях окружающей среды, непосредственно, происходят изменения, поэтому изучение причин и механизмов устойчивости живого растительного организма к различным повреждающим агентам среды обитания и его адаптация к условиям окружающей среды представляет собой одну из важнейших задач биологической науки. Поэтому потребность к сохранению гомеостаза – важнейшее отличие живого организма от неживой материи.

Учение о «механизмах защиты и устойчивости» растительных организмов к различным факторам среды обитания наиболее полно излагал и развито Д.М. Гродзинским (1983). По его меткому выражению «...способность растения к оптимальной устойчивости отражает меру его надёжности» [12].

Предрасположенность к обеспечению защиты от действия неблагоприятных абиотических факторов среды представляется столь же неизбежным свойством любого живого организма, как питание, размножение, движение и другие, данная функция возникла одновременно с образованием первых живых организмов на Земле и в ходе скорой эволюции развивалась и прогрессировала. Потому как повреждающих и уничтожающих факторов великое множество, появившиеся способы защиты от этих факторов оказываются на самом деле самыми разными – от метаболических механизмов до морфологических приспособлений организмов. Выживаемость и расселение по новым экологическим нишам определялись способностью организмов адаптироваться к неординарным условиям среды. Приспособление это и есть адаптация организмов к конкретным условиям существования, например, у индивидуумов

происходит за счёт физиологических механизмов (физиологическая адаптация), а у популяции организмов (вида) благодаря механизмам генетической изменчивости и наследственности (генетическая адаптация).

Если повреждение обмена веществ и функциональной активности трактуется как «отказ», то в физиологии растений можно сослаться на термин «надёжность», понимая под этим бесперебойность функционирования растительного организма в одобрительных условиях существования и при нарушениях от нормы. Непоколебимость растительного организма определяется его умением не допускать или устранять отказ на разных уровнях: молекулярном, субклеточном, клеточном, тканевом, органном и популяционном. Для ликвидации отказов применяются системы стабилизации: принципы избыточности, принцип гетерогенности, равнозначных компонентов, механизмы гомеостаза. Для исключения возникших отказов служат системы репарации (восстановления).

Жизнеспособность растительных организмов к низким температурам варьирует и реагирует на холодостойкость, или устойчивость тенелюбивых растений к низким положительным температурам, и морозоустойчивость, или способность растений переносить температуры ниже 0°C.

Согласно современному системному подходу все биологические системы (организмы), начиная с клетки и заканчивая биосферой, обладают свойствами целостности, относительной устойчивости, а также способностью к адаптации по отношению к внешней среде, развитию, самовоспроизведению и эволюции. Этот жизнедеятельностный подход предполагает изучение совокупности всех элементов, которые образуют целостный биологический объект (организм), и механизмов их взаимодействия друг с другом и окружающей средой.

Биологические системы являются открытыми. Критерием их существования служит обмен энергией, веществом и информацией, как



между частями системы, так и с окружающей средой. Важнейшая специфика биологических систем заключается в том, что такой обмен реализуется под контролем определенных механизмов осуществления генетической информации и внутреннего управления, которые способствуют уклонению от "термодинамической смерти" путем использования энергии извлекаемой из внешней среды.

Устойчивость стационарных состояний биологических систем, а также способность их к переходу из одного состояния в другое обеспечиваются многообразными механизмами саморегуляции.

## 1.2 Особенности действия УФ-спектра на биологические объекты

Неизменным источником света на Земле является Солнце. Световой луч, представляя собой единое целое, не однороден. Впервые это доказал в XVII веке английский физик И. Ньютон в опыте с трехгранной призмой.

В спектре четко различаются семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Спектральный состав излучения с длиной волны от 380 до 470 нм имеют фиолетовый и синий цвета, от 480 до 500 нм – сине-зеленый, от 510 до 560 нм – зеленый, от 570 до 590 нм – желто-оранжевый, от 600 до 760 нм – красный изображены на рисунке 1. Однако деление на семь цветовых зон условно. Большинство людей при нормальной интенсивности (яркости) светового излучения видит шесть цветов, а при низкой всего три [32].

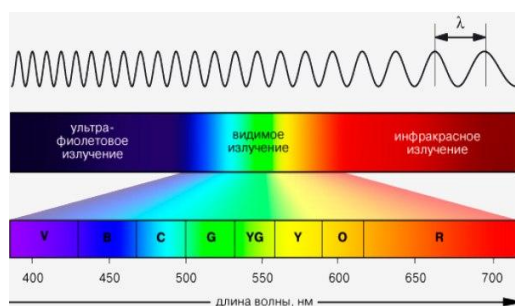


Рисунок 1 – Шкала электромагнитных излучений

Солнечный луч имеет волны всех видимых цветов. Излучения, которые способны влиять на наш глаз, составляют небольшую часть лучей, проникающих сквозь земную атмосферу (рисунок 1):

- электромагнитные волны длиннее 760 нм – инфракрасное излучение;
- от 760 до 380 нм – видимый спектр;
- более короткое – ультрафиолетовое излучение.

В естественной среде обитания её условиях доходящая до поверхности Земли суммарная радиация основывается из потока прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность и рассеянной радиации вышины неба. Длина волны суммарной радиации в области 350-800 нм при безоблачном небе в течение дня почти не изменяется. Доказывается это тем, что нарастание доли красных лучей в прямой солнечной радиации при низком стоянии Солнца последует увеличением доли рассеянного света, в котором много сине-фиолетовый лучей [27].

Атмосфера Земли в большей степени распространяет лучи коротковолновой части спектра (насыщенность рассеивания обратно пропорционально длине волны в четвертой степени), поэтому небо выглядит голубым. При недостатке прямого солнечного света (пасмурная погода) увеличивается доля сине-фиолетовых лучей. Эти данные указывают на преимущество коротковолновой части спектра при употреблении наземными растениями рассеянного света и вероятность участия каротиноидов в фотосинтезе в качестве дополнительных пигментов.

Очевидно, что каротиноиды, а именно,  $\beta$ -каротин есть наиболее встречающийся метаболит живых организмов, соучаствующих в системе защиты клеток от воздействия неблагоприятных факторов среды. В пользу этого подтверждают данные об увеличении количества этого пигмента при

экстремальных воздействиях ультрафиолетового (УФ) и рентгеновского облучений, гипоксии, а также загрязнениях химическими веществами.

Каротиноиды растений размещаются преимущественно в мембранах хлоропластов, где реализуют две важные функции: светособирающую и фотозащитную. Поглощая свет в сине-зеленой области (350-500 нм), где хлорофиллы поглощают мало, они являются вспомогательными сборщиками световой энергии.

По характеристике физиологического действия на живые организмы ультрафиолетовую часть спектра подразделяют на три области: область "А" (400-320 нм), область "В" (320-280 нм) и область "С" (280-200 нм).

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение в области 280–200 нм (УФ-С) обладает чрезвычайно сильным летальным эффектом и индуцирует предпочтительно ядерные мутации. Важнейшим поводом возникновения этих мутаций, также как и гибели клеток у прокариот и эукариот, является формирование циклобутилпиримидиновых димеров между соседними пиримидинами на той же самой нити ДНК. Эти нарушения могут репарироваться ферментами фотореактивации (фотолиазами) с молекулярной массой 40-53 кД. Максимальная активность фотореактивирующих ферментов проявляется на свету в области 350-520 нм с максимумом около 400 нм, там же где расположены основные максимумы поглощения каротиноидов. Каротиноиды могут исполнять функцию непосредственно в фотоустойчивости клеток растений, а также опосредованно через образование витамина А и повышение метаболической устойчивости клеток животных.

И хотя в структуре состава солнечной радиации, достигающей поверхности Земли на равнинах, коротковолновая часть области "В" и область "С" практически отсутствуют, тем не менее их высокая доля в районах высокогорий, а также увеличение числа "озоновых дыр" (в результате загрязнения атмосферы), постоянно повышающих долю УФ-лучей, делают актуальными исследования их действия на организмы.

Кроме того, механизм устойчивости клеток растений, как правило, является широкоуниверсальным, поэтому закономерности, устанавливаемые в конкретных исследованиях по действию одного из факторов, могут иметь более широкое биологическое значение [30].

### 1.3 Способы защиты и надёжность растительных организмов

На молекулярном уровне принцип избыточности находит свое выражение, например, в полиплоидии, на организменном – в образовании большого количества гамет и семян. Примерами восстановительной активности на молекулярном уровне служит энзиматическая репарация поврежденной ДНК, на организменном – пробуждение пазушных почек при повреждении апикальной меристемы, регенерация [42].

Факторы, которые способны вызвать стресс у растительных организмов, можно подразделить на три основные группы:

а) *физические*: недостаточная или избыточная влажность, свет или температура, радиоактивное излучение, механические воздействия;

б) *химические*: соли, газы, ксенобиотики (гербициды, инсектициды и др);

в) *биологические*: поражение возбудителями болезней или вредителями, конкуренция с другими растениями, влияние животных, цветение.

Действие одного и того же фактора с одним и тем же уровнем интенсивности может вызывать или не вызывать стресс у растения в зависимости от его сопротивляемости. Так, по отношению к засухе растения делятся на две группы:

1) *пойкило-гидрические*, не регулирующие свой водный режим и допускающие большую потерю воды (до воздушно-сухого состояния), не теряя жизнеспособности;

2) гомойогидрические растения, регулирующие водный обмен и отвечающие стрессом на водный дефицит.

#### 1.4 Влияние УФ-радиации на содержание фотосинтетических пигментов *in vivo*

Хорошо известно, что основной жизненный процесс растений – фотосинтез – экологически весьма лабилен. В результате адаптации ассимиляционной деятельности растений к условиям среды (порой экстремальным) достигается интенсивность продукционных процессов и уровень биологической продуктивности, необходимые для успешного выживания и конкурентоспособности видов растений и для стабильного существования экосистемы в целом.

Наиболее выразительной характеристикой адаптации фотосинтетического аппарата растений к солнечным лучам является содержание пигментов в зеленых листьях. На тесную связь между количеством пигментов в листьях и световым режимом местообитания указывал еще в начале века в своих классических работах В.Н. Любименко [17].

Как уже отмечалось выше, частичное разрушение озонового экрана может привести к существенному повышению проникновения через атмосферу богатой энергией УФ-радиации. Одной из адаптационно-защитной реакцией при действии УФ-лучей является способность к резкому изменению уровня содержания пигментов.

Первые результаты исследований по выявлению действия УФ-радиации на пигменты свидетельствуют об очень сильной их устойчивости в пластидах. Однако последующие работы, в которых изучалась флуоресценция хлорофилла в пластидах при УФ-облучении выявили высокую чувствительность молекул хлорофилла к действию этого фактора [31].

Наибольшей чувствительностью в разрушении хлорофилла обладают УФ-лучи с длиной волны короче 350 нм, причем как для зеленых водорослей, так и для высших растений решающее значение имеют условия их культивирования, в особенности температура. Данные многих авторов свидетельствуют, что реакция различных растений и пигментных систем в них крайне разнообразны. Из фотосинтезирующих пигментов хлорофилл "в" и ксантофиллы разрушаются меньше, чем хлорофилл "а" и каротиноиды.

Выделяют четыре типа устойчивости хлорофилла к действию ультрафиолета: стабильный (3% разрушение хлорофилла, наземные растения), чувствительный (12%), сильно чувствительный (30%) и крайне чувствительный, главным образом водные растения. Однако следует учитывать, что широкие различия в степенях устойчивости хлорофилла к разрушению, связаны с особенностями физиологического состояния листьев растений. Это подтверждается данными, согласно которым в хлоропластах светочувствительных типов находится лабильное вещество, фотохимическое изменение которого, окисление или разрушение, определяет тип реакции растения. По мнению исследователей, ни теория экрана (роль эпидермиса), ни защитная роль каротиноидов или концентрационная теория (роль концентрации хлорофилла) не являются достаточными для объяснения имеющихся типов реакции, если не признать ведущей роли физиолого-биохимических особенностей исследуемых растений. Не отрицая роли морфологических структур листа в устойчивости пигментных систем, следует иметь в виду, что эпидермис листьев растений и оболочки семян в достаточной мере проницаемы для средне- и длинноволнового УФ-излучения.

Повреждаемость пигментов листьев определяется как мощностью УФ-облучения, так и температурой, при которой оно проводится. Так при оптимальных дозах УФ-облучения в условиях пониженной температуры (+5°C) содержание хлорофилла увеличивается на 6-24%, а уровень

каротина – в 2,5 раза. Характер пигментных изменений, вызванных УФ-облучением, во многом зависит и от тех пострадиационных условий, в которых находятся облученные растения. Облученные листья, помещенные в темноту при пониженных температурах остаются живыми на протяжении 6 дней. При УФ-облучении в малых дозах уменьшается количество хлорофилла, но листья остаются живыми в течение 6-8 недель после облучения.

Примеры анатомо-морфологических и физиологических защитных реакций растительного организма к УФ как стресс-фактору:

1. Во-первых, необходимо обратить внимание на интегральные процессы, такие как: функции мембран, энергетику, рост, соотношение реакций синтеза и распада. Таким образом, можно заметить, что увеличивается проницаемость мембран в результате изменения молекулярного состава их компонентов, происходит обратимый выход ионов калия из клетки; увеличивается концентрация кальция в цитоплазме (выходит из вакуоли, ЭПР, митохондрий); мембрана деполяризуется; происходит ингибирование  $H^+$ -АТФазы, ведущее к закислению цитоплазмы и активации гидролаз; усиливаются процессы распада биополимеров; тормозится в отличие от животных гормональный обмен; синтезируются такие биомедиаторы, как ацетилхолин, катехоламин, гистамин, серотонин, взаимодействующие с фитогормонами. С участием медиаторов – ацетилхолина и биогенных аминов – генерируются биоэлектрические импульсы. Что касается торможения синтеза белка и изменения конформации белковых молекул следует отметить, что происходит дезинтеграция полисом; информационные РНК «дострессовых» белков гидролизуются или взаимодействуют с особыми белками, образуя «стрессовые гранулы» в цитоплазме; тормозятся процессы транскрипции и репликации; синтезируется ряд стрессовых белков. Наблюдающаяся активация сборки элементов цитоскелета

приводит к увеличению вязкости цитоплазмы. Вследствие изменений структуры белков и липидов тилакоидных мембран уменьшается интенсивность фотосинтеза. Также происходит ингибирование дыхания, снижение уровня АТФ. Активируются свободнорадикальные процессы. Все перечисленные изменения взаимосвязаны и служат пусковым звеном для включения цепи последующих обменных реакций, назначение которых состоит не только в восстановлении исходного состояния клетки, но и в активации обмена веществ.

2. Во-вторых, инициируются защитные реакции, также в значительной степени неспецифичные, способствующие более интенсивному синтезу белка и нуклеиновых кислот. За счет образования стрессовых белковизоферментов усиливается «мощность» ферментных систем; происходит стабилизация мембран, в результате чего восстанавливается ионный транспорт; повышаются активность функционирования митохондрий, хлоропластов и соответственно уровень энергообеспечения; снижается генерация активных форм кислорода и тормозится; возрастает роль компенсаторных шунтовых механизмов (усиливается активность пентозофосфатного пути дыхания как поставщика восстановителя и пентоз, необходимых для синтезов (в частности, нуклеиновых кислот)).

3. В-третьих, имеется и другой путь для преодоления стрессовых воздействий – изменение обмена веществ, т. е. возникновение метаболических приспособлений, которые требуют больших энергетических затрат, так как связаны с включением репараторных (восстановительных) механизмов, направленных на предотвращение или исправление повреждения. Ввод в действие такого комплекса защитных реакций способствует поддержанию и удлинению фазы адаптации.

4. И, как итог, происходит разрушение клеточных структур: деструкция ядра, распад гран в хлоропластах, уменьшение количества



крист в митохондриях; образование дополнительных вакуолей; сдвиги физико-химического состояния цитоплазмы. Нарушение ультраструктуры основных энергетических генераторов – митохондрий и хлоропластов – приводит к энергетическому истощению клетки, что и влечет за собой сдвиги физико-химического состояния цитоплазмы.

### **Выводы по первой главе**

Изучение причин и механизмов устойчивости живого растительного организма к различным повреждающим агентам среды обитания и доказывает, что потребность к сохранению гомеостаза – важнейшее отличие живого.

Наибольшей чувствительностью в разрушении хлорофилла обладают УФ-лучи с длиной волны короче 350 нм, причем как для зеленых водорослей, так и для высших растений. Более выразительной характеристикой адаптации фотосинтетического аппарата растений к солнечным лучам является содержание пигментов в зеленых листьях, а одной из адаптационно-защитной реакцией при действии УФ-лучей является способность к резкому изменению уровня содержания пигментов

Таким образом, литературные данные свидетельствуют о том, что изменения в пигментной системе растений могут быть обусловлены различными факторами, из которых наиболее важными являются спектральный состав, дозы УФ-радиации и температура. Однако причины глубоких изменений в пигментных системах могут быть выяснены в каждом конкретном случае, когда рассматриваются в совокупности метаболические особенности растения, условия внешней среды и облучения.

## ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Организация исследования

Достижимость цели определяется на основе собственного опыта, поэтому в исследовании необходимо выявить особенности некоторых ответных реакций листьев комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам, на разные дозы УФ-излучения как стресс-фактора.

Для постановки опыта необходимо:

1. Изучить реакции листьев растений различных экологических групп на возрастающие дозы УФ-радиации.
2. Определить содержание основных и дополнительных пигментов в листьях изучаемых растений спектрофотометрическим методом до и после облучения.
3. Изучить действие УФ-лучей на пигменты *in vivo*.
4. Облучить листья опытных растений разными дозами УФ-радиации, используя установку с бактерицидной лампой. Контрольные листья облучить лучами видимого спектра.
5. Ежедневно визуально определить степень повреждения опытных и контрольных листьев. Результаты занести в таблицу.
6. Определить содержание основных и дополнительных пигментов в листьях изучаемых растений спектрофотометрическим методом до и после облучения.
7. Провести статистическую обработку полученных данных, результаты свести в таблицы и оформить графически.
8. На основании полученных результатов и теоретического материала сделать заключение и выводы.

Объектами исследования служили листья комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам:

1. Герань душистая (*Pelargonium odoratissimum*) – ксеромезофит.
2. Герань зональная (*Pelargonium zonale*) – мезофит.
3. Хлорофитум пучковатый (*Chlorophytum comosum*) – мезофит.
4. Традесканция белоцветковая (*Tradescantia albiflora*) – мезогигрофит.
5. Бегония всегдацветущая (*Begonia semperflorens*) – мезогигрофит.

#### Краткая биологическая характеристика изучаемых объектов

1. Пеларгония (*Pelargonium*), род растений семейства гераниевых, травы и полукустарники. Листья супротивные с прилистниками, обычно с железистым опушением. Введены в культуру как эфиромасличные и декоративные растения, широко разводят в комнатах и оранжереях. Пеларгонию часто называют геранью. Около 250 видов, преимущественно в Южной Америке, а также в Австралии и м. Азии.
2. Традесканция (*Tradescantia*), род многолетних трав семейства каммелиновых. Около 60 видов в субтропических и тропических областях Америки, в СНГ только в культуре. Выращивают в открытом грунте, оранжереях, комнатах.
3. Бегония (*Begonia*), род растений семейства бегониевых. Многолетние травы с толстыми корневищами или клубнями, редко кустарники или лианы, цепляющиеся при помощи корней. Листья разнообразной окраски, часто с ярким опушением; в пазухах листьев часто развиваются луковички, служащие для вегетативного размножения. Около 900 видов, в тропиках и субтропиках, главным образом в Южной Америке. Многие виды и их гибриды широко разводят как декоративные растения.
4. Хлорофитум (*Chlorophytum*). Многолетние травянистые растения с клубневидноутолщенным пучком корней. Листья линейные, реже широколистные. Цветоносы (появляются между корневыми листьями)

округлые, вначале с несколькими цветками на верхушке. На верхушке и по бокам цветоносных побегов развиваются молодые отростки – растения с корнями, состоящие из пучка листьев и корней. Цветки мелкие собраны в кисть. Распространены в тропиках западного и восточного полушарий. В роде около 215 видов. В культуре наиболее известны 2 вида – *Ch. capense*, *Ch. comosum*. Культивируют в умеренно теплых и холодных оранжереях, пригодны для выращивания в комнатах и используются как ампельные.

Как было отмечено ранее УФ-радиация 250-320 нм для многих растений является стрессовым фактором. Поэтому даже при незначительном уменьшении стратосферного озонового слоя можно ожидать относительно большого биологического фактора УФ-излучения выраженного в изменении видового состава и продуктивности растений. УФ-радиация может изменить характер сложившихся конкурентных отношений между растениями. Виды, менее чувствительные к УФ-радиации могут становиться доминантным и существенно менять структуру.

В настоящее время продолжается разрушение озонового слоя под действием антропогенных факторов. В этой связи изучение влияния УФ-радиации на живые организмы, в том числе и растительные, являются весьма актуальным как с теоретической, так и с практической точек зрения.

## 2.2 Методы исследования ответных реакций листьев комнатных растений на УФ-излучение как природный стресс- фактор

В качестве источника УФ-радиации использовали бактерицидную лампу БУВ-30П с максимумом излучения в области 253,7 нм, помещённую в установку с отражателем из алюминиевой фольги [18]. Мощность УФ-потока на уровне листьев (расстояние 25 см от лампы), измеренная с помощью термостолбика, составила 50 рг/мм<sup>2</sup> с (5 Вт/м<sup>2</sup>с). Листья

помещали в пробирки с водой, закрепляли негигроскопической ватой так, чтобы они располагались горизонтально и облучали в течение 1, 5 и 10 минут, что соответствовало 3000, 15000 и 30000 рг/мм<sup>2</sup> или 300, 1500 и 3000 Вт/м<sup>2</sup> (рисунок 2). В качестве контроля использовали срезанные листья исследуемых растений, освещенные лучами видимого света (солнечный свет через оконное стекло).

После облучения пробирки с листьями выставляли на подоконник. Через 7 дней визуально определяли степень повреждения листовых пластинок в соответствии с таблицей 1.

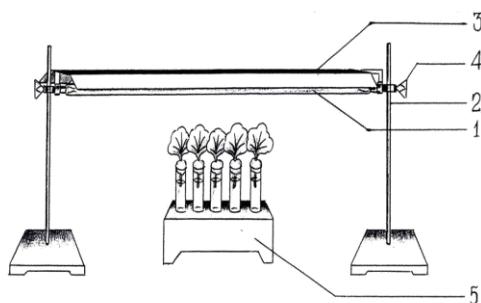


Рисунок 2 – Установка для облучения растений ультрафиолетовыми лучами

1 – бактерицидная лампа, 2 – штатив, 3 – экран из алюминиевой фольги, 4 – винт фиксирующий лампу в штативе, 5 – штатив с пробирками, в которые помещены листья исследуемых растений.

Содержание основных и дополнительных пигментов (исходное и по окончании опыта) определяли с использованием спектофотометра СФ- 26 по методике, описанной Гавриленко В.Ф. и Ладыгиной М.Е. (1975). Опыты проводили в 3-4 кратной повторности. В таблицах и рисунках представлены данные среднеарифметических величин.

Концентрация хлорофиллов «а» и «в» в ацетоновых экстрактах рассчитывали по формуле Мак-Кини (1947), а каротиноидов по формуле Ветштейна (1949). Содержание пигмента в растительном материале в мг/г сырого веса рассчитывали по формуле  $A = (C \cdot Y) / P \cdot 1000$  мг/г.

$C$  – концентрация пигмента в мг/л.,  
 $У$  – объём вытяжки пигмента в мл.,  
 $P$  – навеска растительного материала в г.,  
 $A$  – содержание пигмента в растительном материале в мг/г сырого веса.

Концентрации пигментов рассчитывали по формулам:

а) Для хлорофиллов (Мак-Кини, 1947):

$$C_a = 12,7 D_{663} - 2,69 D_{645} \text{ (мг/л)}$$

$$C_b = 22,9 D_{645} - 4,68 D_{663} \text{ (мг/л)}$$

$$C_{a+b} = 8,02 D_{663} + 20,2 D_{645} \text{ (мг/л)}$$

б) Для каротиноидов (Ветгештейн, 1949):

$$C_{\text{кар}} = 4,695 D_{440,5} - 0,268 \text{ (мг/л)}$$

Оптическую плотность исследуемых растворов определяли по формуле:  $D = \lg(1/T) = -\lg T$ .

Все опыты проводили в трехкратной повторности.

В таблицах представлены результаты средних арифметических величин.

При изучении действия УФ-радиации на пигменты *in vivo* поступили следующим образом. Ацетоновые экстракты пигментов из листьев исследуемых растений помещали в чашки Петри, которые располагали в один ряд под бактерицидной лампой (на расстоянии 10 см. от лампы) и облучали в течение 0,5; 1; 2,5; 5; 10 минут. Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим методом.

### 2.3 Методы математико-статистической обработки результатов исследования

Алгоритм расчета показателей описательной статистики и статистики выводов (Приложение № 1).

1) Исходные данные.

С помощью этих данных производится анализ исследуемых показателей, для обоснования выбора методов математико-статистической обработки полученных данных.

2) Метод описательной статистики позволит получить агрегированные оценки исследуемых показателей и перейти от индивидуальных (единичных) оценок к групповым (итоговым) параметрам, например, путем сравнения первичных статистик разных групп.

3) Определение «шкалы измерений» и «нормальность (симметричность) распределения» значений, исследуемых в ВКР показателей.

Эти данные позволят выбрать адекватные методы статистической обработки данных.

#### Критерий Колмогорова-Смирнова

Критерий позволяет найти точку, в которой сумма накопленных частот расхождений между двумя распределениями является наибольшей, и оценить достоверность этого расхождения.

4) Определить уровень статистической значимости.

Вероятность ошибки 1-го рода, т.е. вероятность отклонения нулевой гипотезы ( $H_0$ ), в то время как она верна. При этом доверительная вероятность правильного решения составит  $1 - \alpha$ .

В биологическом эксперименте приемлемым низшим уровнем статистической значимости принято считать 5%-уровень ( $p \leq 0,05$ ).

5) Выбор и обоснование метода статистики выводов и статистический критерий проверки гипотез для оценки достоверности различий сравниваемых групп.

T-критерий Вилконсона – критерий применяется для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях на одной и той же выборке испытуемых. Он позволяет установить не только направленность изменений, но и их выраженность. С его помощью определяется, является ли сдвиг показателей в каком-то одном направлении более интенсивным, чем в другом.

## **Выводы по второй главе**

При выявлении особенности некоторых ответных реакций листьев комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам, на разные дозы УФ-излучения как стресс-фактора, необходимо получить данные, которые будут свидетельствовать о том, что листья растений различных экологических групп по-разному отреагируют на воздействие УФ-излучения.



### ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты опытов по влиянию различных доз УФ-излучения на степень повреждения листьев растений различных экологических групп представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Влияние УФ-излучения на степень повреждения листьев растений различных экологических групп

Объекты Исследования	Экологические группы	Время облучения		
		1 мин.	5 мин.	10 мин.
Традесканция белоцветковая	Мезогигрофит	+++	++++	++++
Бегония всегдацветущая	Мезогигрофит	++	++++	++++
Герань зональная	Мезофит	++	++	+++
Хлорофитум пучковатый	Мезофит	0	+	++
Герань душистая	Ксеромезофит	0	+	++

Полученные данные свидетельствуют о том, что листья растений различных экологических групп по-разному отреагировали на воздействие УФ-излучения. Наиболее чувствительна к УФ-радиации оказалась группа мезогидрофитов (традесканция белоцветковая и бегония всегдацветущая). Даже при самой низкой дозе ультрафиолета листья этих растений имели среднюю и сильную степень повреждения. В вариантах опытов с 5 по 10 минуты облучением наблюдался летальный исход.

Более устойчивой к УФ-радиации оказалась группа мезофитов (герань зональная и хлорофитум пучковатый). Из них наименее восприимчивыми к УФ-излучению оказались листья хлорофитума. Так, после минутного облучения листьев данного растения визуально не обнаружено никаких изменений. При визуальном осмотре листья опытных

растений этой группы не трудно было заметить специфичность повреждения.

Особенностью повреждения листьев хлорофитума выражалась в омертвлении тканей верхушек листовых пластинок, в то время как повреждение герани происходило по всей площади листа и выражалось в потере зеленой окраски листьями. Чем больше листья герани получали дозу облучения, тем больше желтели.

Максимальной устойчивостью к воздействию УФ-излучения оказалась герань душистая, которая относится к группе ксеромезофитов. Омертвление тканей при всех дозах облучения обнаружено не было. Листья отличались лишь равной окраской, но полной потери зеленого пигмента даже при самой большой дозе облучения не происходило.

Для выяснения причины неодинаковой устойчивости листьев растений различных групп к УФ-радиации нами были проведены опыты по влиянию данного фактора на содержание основных и дополнительных пигментов. Результаты опытов представлены в таблице 3 и на рисунках 3, 4, 5, 6.

Таблица 2 – Влияние УФ-излучения на содержание пигментов некоторых комнатных растений

№ п/п	Вид растения	Время облучения (мин)	Хл «а» мг/г с.в.	Хл «в» мг/г с.в.	Хл «а»+ «в» мг/г с.в.	A <sub>кар</sub> мг/г с.в.
1	2	3	4	5	6	7
1.	Герань душистая	0	0,666	0,224	0,970	0,447
		1,0	0,783	0,289	1,067	0,507
		5,0	0,468	0,140	0,608	0,320
		10,0	0,238	0,052	0,289	0,173
2.	Герань зональная	0	0,882	0,272	1,154	0,567
		1,0	0,116	-	0,116	0,185
		5,0	0,111	-	0,111	0,176
		10,0	0,065	-	0,065	0,158
3.	Хлорофитум пучковатый	0	0,508	0,163	0,671	0,309
		1,0	0,466	0,153	0,619	0,300
		5,0	0,392	0,127	0,519	0,253
		10,0	0,279	0,078	0,357	0,167

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
4.	Традесканция белоцветковая	0	0,413	0,108	0,521	0,212
		1,0	0,652	0,123	0,775	0,354
		5,0	0,368	0,116	0,484	0,213
		10,0	0,243	0,065	0,308	0,179
5.	Бегония всегдацветущая	0	0,562	0,242	0,804	0,438
		1,0	0,457	0,195	0,652	0,602
		5,0	0,370	0,159	0,529	0,383
		10,0	0,253	0,074	0,327	0,208

А Хл.

«а»

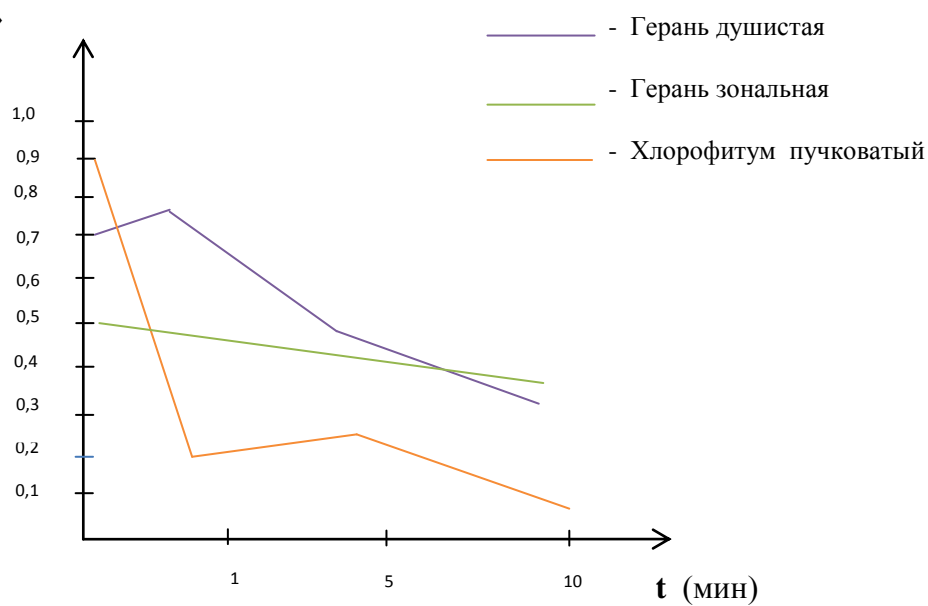


Рисунок 3 – Влияние УФ-излучения на содержание хлорофилла «а» в листьях комнатных растений

А Хл. «В»  
(мг/г с.в.)

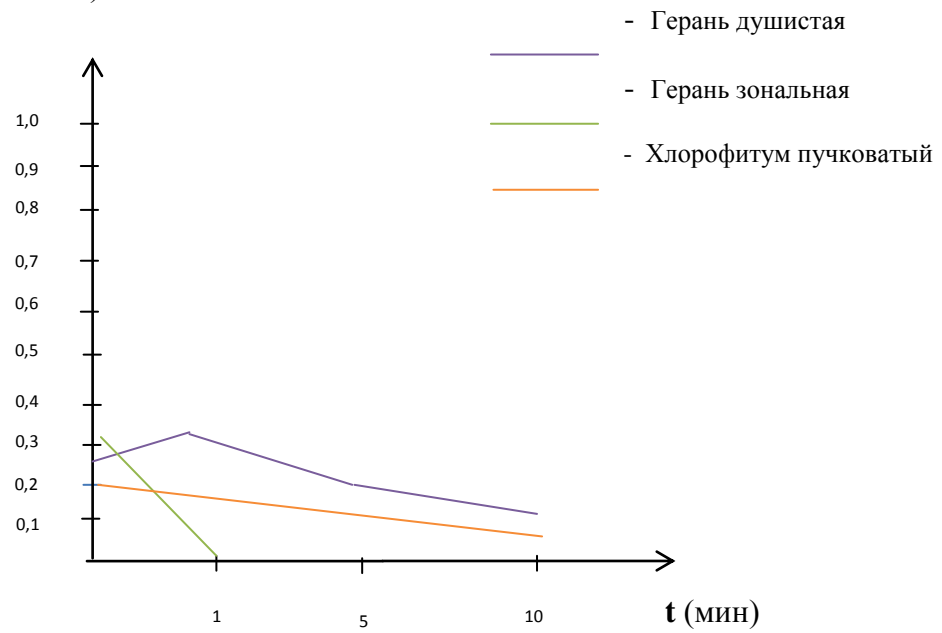


Рисунок 4 – Влияние УФ-излучения на содержание хлорофилла «в» в листьях комнатных растений

А Хл. «а»  
и «в»

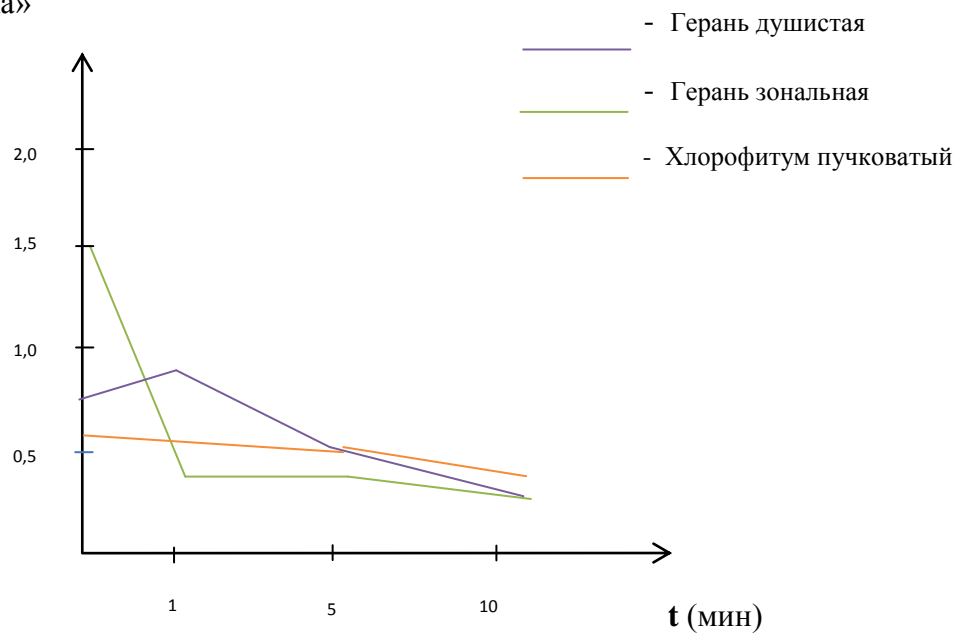


Рисунок 5 – Влияние УФ-излучения на содержание основных пигментов в листьях комнатных

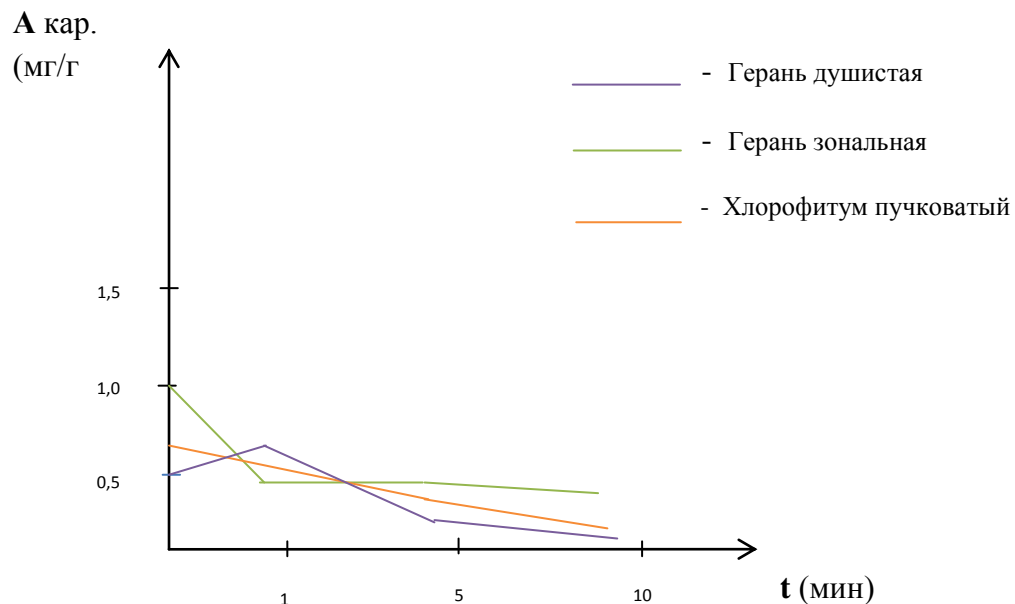


Рисунок 6 – Влияние УФ-излучения на содержание каротиноидов в листьях комнатных растений

Основанием для изучения содержания пигментов после воздействия УФ-излучения послужили результаты других исследователей [10]. Данные авторов свидетельствуют о том, что между содержанием каротиноидов и устойчивостью клеток является корреляция.

В своих опытах мы изучали влияние УФ-излучения на содержание хлорофилла «а» и «в» и каротиноидов. Содержание пигментов определяли, на 7-й день после облучения ультрафиолетом. К этому времени листья мезогидрофитов (традесканция, бегония) во всех вариантах опытов погибли.

Результаты опытов свидетельствуют о том, что научные объекты имеют неодинаковое исходное содержание как основных, так и дополнительных пигментов, которые представлены на рисунках 3, 4, 5, 6. По-разному отреагировали они изменением пигментного состава и на воздействие УФ-радиации.

Больше всего зеленых пигментов – хлорофиллов «а» и «в» и дополнительных – каротиноидов у контрольных растений содержалось в

листьях герани зональной. На втором месте по исходному содержанию пигментов стоит герань душистая, а на третьем – хлорофитум пучковатый.

Полученные данные свидетельствуют о том, что на минимальную дозу УФ-излучения (1 мин) каждый объект отреагировал по-своему. В листьях герани душистой произошло незначительное повышение содержания как основных, так и дополнительных пигментов. Это согласуется с данными Дубова А.П. (1963), согласно которым даже при кратковременном воздействии УФ-радиации может стимулироваться как образование протохлорофилла, так и его переход в хлорофилл.

В хлорофитуме пучковатом произошло незначительное снижение содержания основных пигментов – хлорофилла «а» и «в», а содержание каротиноидов осталось на уровне контроля. Наиболее существенные изменения произошли в листьях герани зональной. Полностью был разрушен хлорофилл «в», на 90% – хлорофилл «а» и на 67% – каротиноиды.

Увеличение дозы УФ-облучения в последующих вариантах опыта имел сходные результаты. По мере нарастания дозы происходило снижение содержания как основных, так и дополнительных пигментов у всех изучаемых объектов. При максимальной дозе облучения (10 мин) больше всего основных пигментов сохранилось в листьях хлорофитума пучковатого и герани душистой. Зеленые пигменты герани зональной практически были разрушены полностью.

По содержанию дополнительных пигментов – каротиноидов при максимальной дозе УФ-радиации листья изучаемых объектов резко не отличались. Однако следует отметить, что их содержание осталось более высоким в листьях герани душистой и хлорофитума пучковатого.

Сравнение данных таблицы 2 и таблицы 3, а также рисунков 3, 4, 5, 6, позволяет предположить, что между содержанием пигментов и устойчивостью листьев к УФ-излучению имеется определенная связь.

Полученные результаты подтверждают идеи ряда исследователей о том, что большое значение в устойчивости растений к УФ-радиации играют дополнительные пигменты каротиноиды, которые локализуются в мембранах хлоропласта и выполняют не только светособирающую функцию, но и фотозащитную функцию.

В предыдущих опытах были выявлены особенности действия различных доз УФ-радиации на пигменты листьев растений различных экологических групп *in vivo*. Однако, хорошо известно, что в клетках листа пигменты находятся не в виде простого раствора. Поэтому пигменты находятся в хлоропластах в ином физико-химическом состоянии, чем в растворе.

Данные эксперимента приведенные в таблице 4 и на рисунках 7, 8, 9,10 позволяют констатировать, что листья исследуемых растений существенно отличаются по содержанию как зеленых, так желтых пигментов.

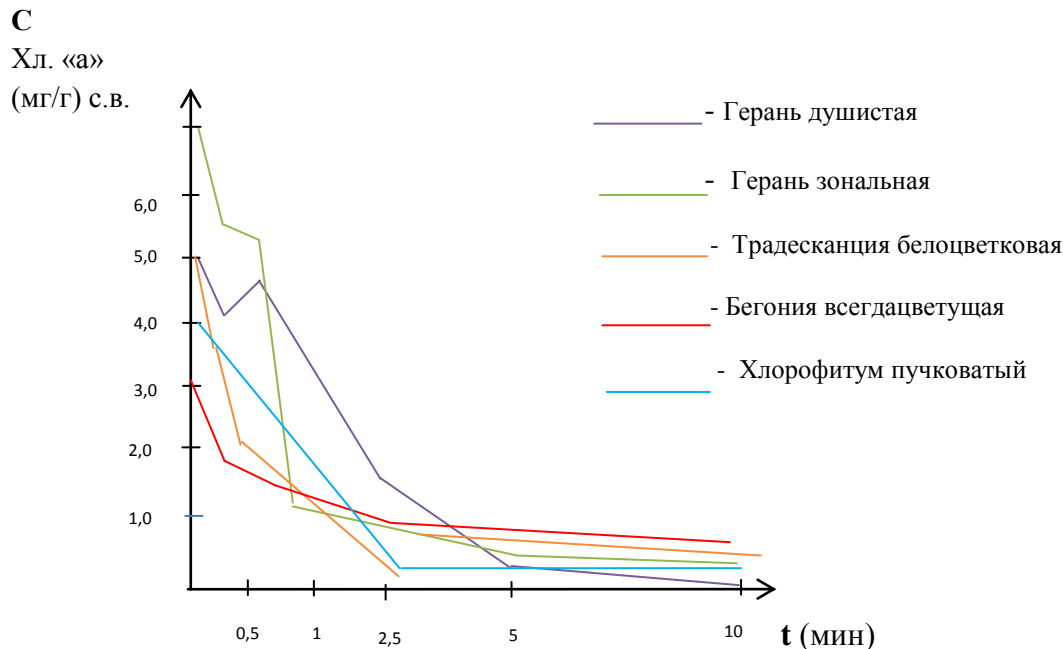


Рисунок 7 – Действие УФ-радиации на содержание хлорофилла «а» *in vitro* в листьях комнатных

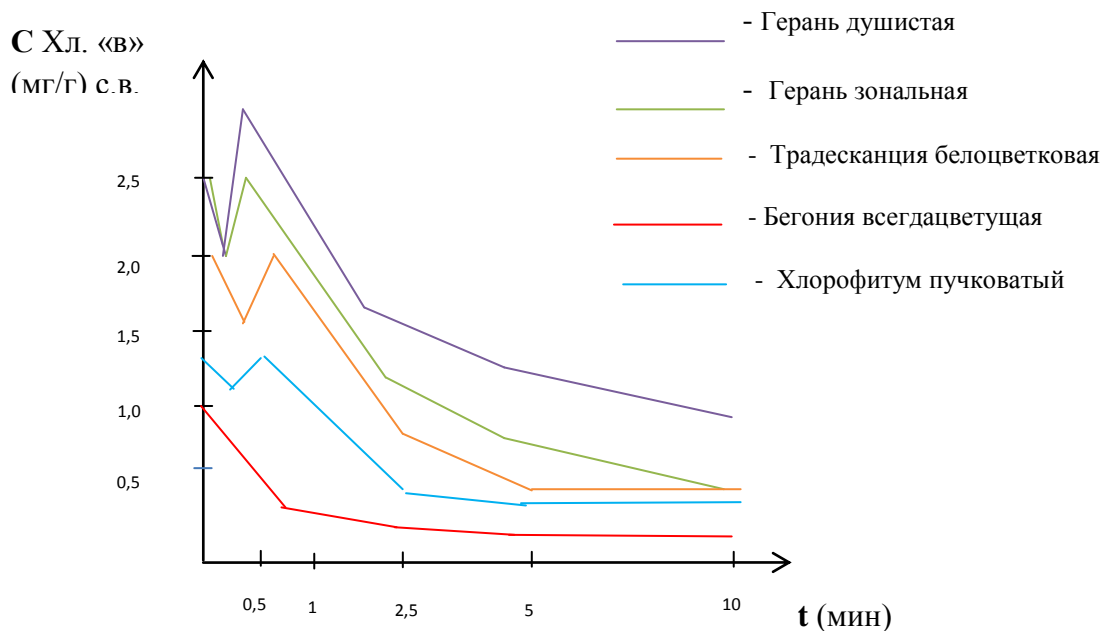


Рисунок 8 – Действие УФ-радиации на содержание хлорофилла «в» *in vitro* в листьях комнатных растений

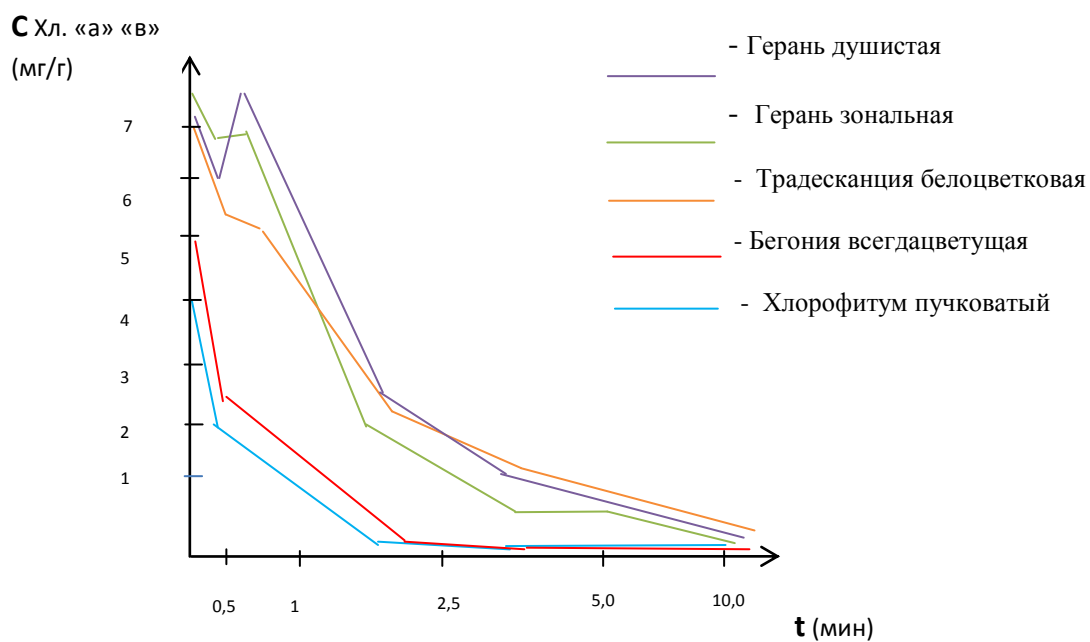


Рисунок 9 – Действие УФ-радиации на содержание хлорофилла «а» и «в» *in vitro* в листьях комнатных растений



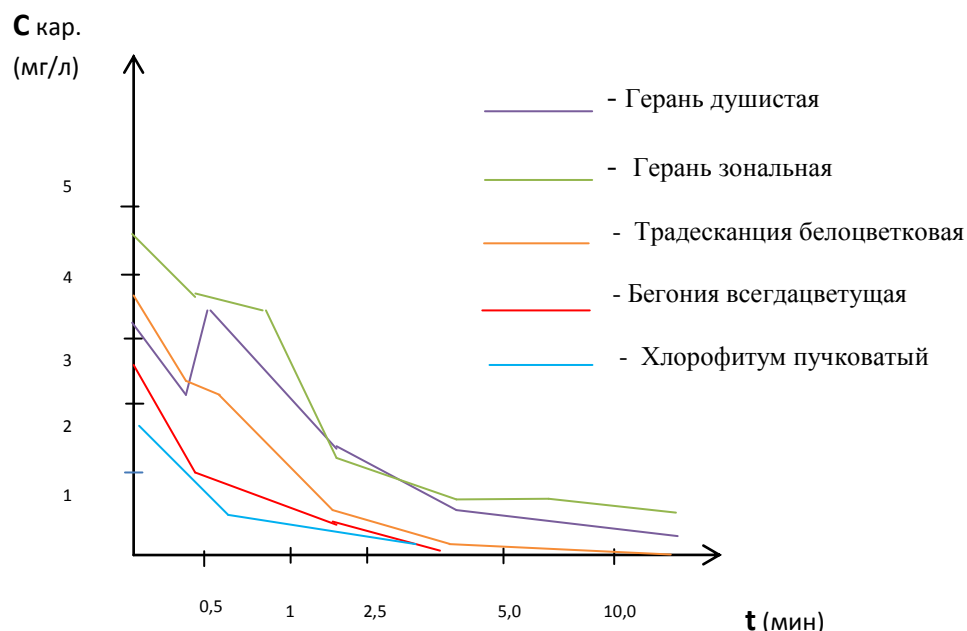


Рисунок 10 – Действие УФ-радиации на содержание каротиноидов *in vitro* в листьях комнатных растений

Таблица 3 – Влияние различных доз УФ-излучения на пигменты листьев комнатных растений *in vivo*

№ п/п	Вид растения	Время облучения (мин)	С		С Хл «а»+ «в» мг/г с.в.	С <sub>кар</sub> мг/г с.в.
			Хл «а» мг/г с.в.	Хл «в» мг/г с.в.		
1	2	3	4	5	6	7
1.	Герань душистая	0	5,363	1,868	7,232	3,643
		0,5	4,363	1,540	5,563	2,936
		1,0	5,161	2,636	7,498	3,443
		2,5	1,617	1,138	2,455	1,239
		5,0	0,405	0,640	1,045	0,556
		10,0	0,212	0,261	0,473	0,430
2.	Герань зональная	0	6,596	1,876	8,472	4,100
		0,5	5,086	1,697	6,784	3,141
		1,0	4,996	2,224	7,220	3,072
		2,5	0,803	0,766	1,568	0,675
		5,0	0,162	0,323	0,485	0,267
		10,0	0,052	0,076	0,130	0,164
3.	Традесканция белоцветковая	0	5,607	1,960	7,547	3,676
		0,5	3,604	1,505	5,120	2,330
		1,0	2,716	1,968	4,884	1,948
		2,5	0,326	0,525	0,552	0,382
		5,0	0,052	0,068	0,122	0,070
		10,0	0,666	0,046	0,053	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
4.	Бегония всегдацветущая	0	2,660	1,072	3,753	1,455
		0,5	2,432	0,675	2,096	0,612
		1,0	2,210	0,299	2,509	0,293
		2,5	0,327	0,121	0,447	0,004
		5,0	0,087	0,634	0,223	-
		10,0	0,052	-	0,051	-
5.	Хлорофитум пучковатый	0	3,854	1,164	5,019	2,298
		0,5	2,506	1,059	3,566	1,525
		1,0	1,572	1,250	2,822	0,948
		2,5	0,129	0,136	0,268	0,081
		5,0	0,043	0,048	0,093	-
		10,0	0,025	-	0,025	-

В ответных реакциях основных и дополнительных пигментов, выделенных из листьев различных экологических групп есть как черты сходства, так и различия. Сходным образом зеленые и желтые пигменты отреагировали на УФ-облучение от 1 до 10 мин. Дозы УФ-радиации, полученные пигментами за эти временные периоды приводили к резкому разрушению как хлорофилла «а» и «в», так и каротиноидов. Наиболее существенные различия в реакциях исследуемых пигментов на УФ-излучение выявились при коротких экспозициях. При 30-ти секундном облучении ультрафиолетом содержание зеленых и желтых пигментов в вариантах опыта снижается. Однако, на дальнейшее увеличение дозы облучения (1 мин) пигменты отреагировали по-разному. Продолжало резко снижаться содержание хлорофилла «а», выделенного из листьев традесканции белоцветковой и хлорофитума пучковатого, практически не изменилась концентрация этого пигмента экстрагированного из листьев герани зональной и бегонии всегдацветущей, а содержание хлорофилла «а», выделенного из герани душистой даже возросло. Анализ начальных участков дозовых кривых позволяет полагать, что наибольшую устойчивость к действию УФ-радиации проявил хлорофилл «а»,

выделенный из листьев герани душистой, герани зональной и бегонии всегдацветущей.

Ответные реакции хлорофилла «в» на низкие дозы УФ-облучения в большинстве случаев были одинаковыми. Их содержание повышалось во всех исследуемых образцах кроме раствора пигментов бегонии.

Таким образом, реакция хлорофилла «в» на градуально нарастающее воздействие УФ-излучения не является монотонной. Её можно отнести к трёхфазной кривой реагирования. Подобную зависимость биологических эффектов от величины воздействия УФ-радиации наблюдали и другие исследователи. Повышение содержания хлорофиллов под действием низких доз ультрафиолета обусловлено ускорением реакций прекращения протохлорофилла в хлорофилл.

По исходному содержанию желтых пигментов исследуемые листья имеют значительные отличия. Трёхфазная кривая реагирования характерна только для каротиноидов герани душистой. Каротиноиды других исследуемых растений начали разрушаться уже при минимальных дозах облучения и при увеличении времени экстракции содержание пигмента резко падало. При наибольшей дозе облучения (10 мин) частично сохранялись каратиноды герани душистой и герани зональной, остальные разрушались полностью.

Сравнивая результаты эксперимента, представленные в таблице 4 и на рисунках 7, 8, 9, 10 не трудно убедиться, что однозначность ответа в виде трехфазных кривых характерна для всех пигментов только герани душистой, которую относят к группе ксеромезофитов. Даже при самой высокой дозе (10 мин) содержание как основных, так и дополнительных пигментов оставалось выше в сравнении с другими вариантами опыта, что согласуется с предыдущими результатами, согласно которым, листья герани душистой оказались наименее повреждены даже при высоких дозах облучения ультрафиолетом.

Полученные нами экспериментальные данные позволяют заключить, что степень устойчивости листьев растений различных экологических групп к УФ-облучению как стресс фактору возрастает от мезогигрофитов к мезофитам и ксерофитам. Она из причин наибольшей устойчивости листьев герани душистой (ксеромезофит), по-видимому, может быть связана с более высокой резистентностью к ультрафиолету ее пигментной системы (как зеленых, так и желтых пигменты). Анализ дозовых пигментов кривых (*in vivo*) свидетельствует, что в толерантной зоне гомеостатические механизмы у данного объекта очевидно более совершенны так как переход через бифуркационную точку в последующее стационарное состояние – стресс – осуществляется при более высоких дозах действующего фактора. В состоянии стресса наиболее устойчивыми оказались также пигментные системы герани душистой. Следует также отметить и достаточно высокую устойчивость пигментов в состоянии стресса и у хлорофитума пучковатого (мезофит).

Таким образом, возможной причиной более высокой устойчивости герани душистой и хлорофитума пучковатого являются более совершенные механизмы стабилизации поддерживающие параметры клеток как в нормальном состоянии (механизмы гомеостаза), так и в состоянии стресса (защитные механизмы). Один из таких механизмов, по-видимому, может быть связан как с уровнем каротиноидов, так и с их устойчивостью к ультрафиолету.

Учитывая, что каротиноиды могут оказывать как прямое, так и косвенное влияние на поддержание устойчивого состояния биообъектов при действии на них стресс факторов, можно предположить и наличие иных механизмов защиты в клетках изучаемых растений от действия УФ-излучения. Об этом косвенно свидетельствуют результаты опытов с листьями герани зональной и традесканции белоцветковой. Даже при первоначальной дозе облучения в листьях герани зональной значительно снижалось содержание как зеленых, так и желтых пигментов, однако они

оставались живыми и поле максимально дозы стресс фактора. Листья же бегонии всегдацветущей погибали уже при средней дозе ультрафиолета, оставаясь при этом зелеными. Следует также учитывать и другие молекулярные механизмы адаптации растений к действию стресс-факторов: накоплению антиоксидантов, протекторов (пролин, поламины), белков теплового шока и т.д.

Изучение ответных реакций пигментных систем листьев растений различных экологических групп на градуально нарастающее воздействие изучаемого стресс-фактора *in vivo* дает основание констатировать что только для всех пигментов герани душистой (зеленых и желтых) характерны трехфазные кривые реагирования. Следует особо отметить, что только у данного ксеромезофита произошло повышение содержания хлорофилла «а» при действии изначальных доз УФ-лучей. Это, по-видимому, обусловлено стимуляцией реакций перехода протохлорофилла в хлорофилл. Подобный ответ вероятно указывает на более высокую надежность гомеостатических механизмов данного биообъекта в толерантной зоне.

При переходе в последующее стационарное состояние – стресс, пигменты всех изучаемых объектов ответили неспецифическими реакциями, которые привели к уменьшению их содержания. Наименее разрушенными, даже при максимальной дозе облучения, оказались пигменты герани душистой. Это даёт основание предположить, что защитные механизмы пигментной системы данного ксеромезофита и в состоянии стресса более надежны. Сравнивая дозовые кривые хлорофиллов «а» и «в» всех изучаемых объектов не трудно заметить, что резкое снижение хлорофилла «а» привело к резкому повышению содержания хлорофилла «в» в той же области действия стрессора. Подобная взаимосвязь не случайна так как известно, что хлорофилл «в» есть окисленная форма хлорофилла «а». Этот факт лишь подтверждает одно из положений концепции стрессора, согласно которой один из

механизмов отрицательного воздействия стресс факторов на биообъекты может быть связан с образованием оксидантов.

### **Выводы по третьей главе**

Таким образом, результаты эксперимента дают основание утверждать, что листья растений различных экологических групп значительно отличаются по устойчивости у УФ-излучению как стресс-фактору.

При выявлении особенности некоторых ответных реакций листьев комнатных растений, относящихся к различным экологическим группам, на разные дозы УФ-излучения как стресс-фактора, были получены данные, которые свидетельствуют о том, что листья растений различных экологических групп по-разному отреагировали на воздействие УФ-излучения. Наиболее чувствительны к УФ-радиации оказалась группа мезогидрофитов (традесканция белоцветковая и бегония всегдацветущая). Даже при самой низкой дозе ультрафиолета листья этих растений имели среднюю и сильную степень повреждения. В вариантах опытов с 5 по 10 минуты облучением наблюдался летальный исход.

Более устойчивой к УФ-радиации оказалась группа мезофитов (герань зональная и хлорофитум пучковатый). Из них наименее восприимчивыми к УФ-излучению оказались листья хлорофитума. Так, после минутного облучения листьев данного растения визуально не обнаружено никаких изменений. Более длительные экспозиции вызвали слабую и среднюю степень повреждения. При визуальном осмотре листья опытных растений этой группы не трудно было заметить специфичность повреждения.

## **ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ БИОЛОГИИ**

Разработка внеклассного мероприятия

Тема мероприятия: Ботанический турнир

По теме исследования на базе МКОУ «СОШ № 1 г. Нязепетровска» разработано и проведено внеклассное мероприятие в рамках изучения учебного предмета «Биология» на тему «Ботанический турнир» с обучающимися 11<sup>б</sup> класса.

Форма проведения: урок обобщения и систематизации знаний.

Участники: обучающиеся 11-го класса.

Возраст: 16 – 17 лет.

Практико-ориентированные сведения при изучении данной темы:

– у растительных организмов наблюдаются приспособительные реакции к условиям влияния окружающей среды, как и у любого живого организма, так, например, у животных во время влияния какого-либо стресс фактора повышается обмен веществ, в тоже время у растительных организмов этот процесс происходит наоборот, у них понижается обмен веществ. Следовательно, целесообразно разобраться в приспособительных адаптациях растительного организма к УФ как к стресс-фактору;

– развитие представлений об ответных реакциях растений на воздействие неблагоприятных условий среды, а именно к УФ как стресс-фактору, представляет научный интерес и позволяет лучше понять закономерности функционирования не только растений, но и всех живых организмов, включая и человека;

– данный раздел и область физиологии растений имеет высокое значение, поскольку выявление механизмов устойчивости и адаптации растений к неблагоприятным факторам окружающей среды открывает широкие перспективы для развития селекции и биотехнологий.

**Цель:** познакомить обучающихся с защитными и адаптационными особенностями растений по отношению к стресс факторам, сформировать знания об условиях протекания процесса фотосинтеза, на основе опытов из выпускной квалификационной работы доказать поглощение углекислого газа и выделение кислорода листьями на свету, показать роль света как необходимого условия протекания фотосинтеза, выявить приспособленности растений к использованию света в процессе фотосинтеза.

**Задачи урока:**

1. Образовательная – познакомить учащихся с сущностью процесса фотосинтеза, его значением в природе и жизни человека; работами ученых, исследовавших процесс фотосинтеза.

2. Развивающая – развивать у учащихся навыки выделять главное и делать выводы, обогащение специальной речи учащихся; продолжить формирование навыков работы с лабораторным оборудованием, а также умения ставить простой опыт.

3. Воспитательная – формирование умений учащихся работать в группах.

**Форма:** внеурочная.

**Технология:** проблемное обучение.

**Оборудование:** проектные работы обучающихся, живые растения, сырой картофель, раствор йода, чашки Петри, пинцет.

**Актуальность:** на уроке будут рассмотрены процессы фотосинтеза, условия, необходимые для его протекания; обучающиеся познакомятся с работами ученых, исследовавших эту проблему для формирования знаний о роли света как необходимого условия протекания фотосинтеза.

**План проведения урока:**

1. Организационный момент.
2. Актуализация опорных знаний и умений. Вступительное слово учителя.



3. Защита проектов: проекта первой группы: «История исследования процесса фотосинтеза»; проект второй группы: «Условия прохождения процесса фотосинтеза»; проект третьей группы: «Образование органических веществ в хлоропластах листьев на свету».
4. Закрепление пройденного материала (ответы на вопросы, подготовленные каждой группой обучающихся).
5. Инсценировка процесса фотосинтеза – ролевая игра «Необыкновенное приключение хлорофилла».
6. Подведение итогов. Рефлексия.

**Ход мероприятия:**

1. Организационный момент.  
Приветствие.
2. Актуализация опорных знаний и умений.  
Постановка целей и задач мероприятия.

Дело в том, что солнечный свет кроме полезной инфракрасной и видимой частей спектра содержит ещё ультрафиолетовое излучение, убивающее практически все живое. Именно хлорофилл и явился героем сложного многоступенчатого процесса, названного впоследствии фотосинтезом.

На сегодняшнем уроке мы рассмотрим процесс фотосинтеза, условия, необходимые для его протекания; познакомимся с работами ученых, исследовавших эту проблему.

Каждая из групп, на которые был разделен класс, должна была составить проект, найдя ответы на поставленные вопросы. Предоставим слово для защиты проекта учащимся первой группы.

3. Защита проектов:
  - 1) защита проекта первой группы обучающихся;
  - 2) защита проекта второй группы обучающихся;
  - 3) защита проекта третьей группы обучающихся.

#### 4. Закрепление пройденного материала.

Энергию растение получает от Солнца. Вот почему фотосинтез возможен только на свету. Свет – это один из видов энергии, или одна из её форм существования. Хлорофилл улавливает и направляет световую энергию на осуществление фотосинтеза, на образование органического вещества из неорганических. Этот процесс, как мы уже знаем, протекает в хлоропластах. При этом световая энергия переходит в другую форму, в такую, которая скрыта в образовавшемся органическом веществе. Будучи заключенной в органическом веществе, энергия может очень долго сохраняться на Земле. Ни человек, ни животное, ни грибы, ни растения, лишённые хлорофилла (например, подбельник), не могут усвоить энергию посредственно от солнца, хотя для жизни энергия необходима. Это может сделать только зеленое растение. Его роль на Земле наш выдающийся ученый-ботаник К. А. Тимирязев назвал космической. Это надо понимать так: на Земле благодаря зеленому растению накапливается энергия, которая поступила из космоса от Солнца.

#### 5. Инсценировка процесса фотосинтеза – ролевая игра.

#### 6. Подведение итогов. Рефлексия.

Заключительное слово учителя:

Зелёный лист – источник жизни на нашей планете. Хлоропласты листа – это единственная в мире лаборатория, в которой из простых неорганических веществ – углекислого газа и воды – создаются с помощью энергии солнечного луча сложные органические вещества – сахар и крахмал. К. А. Тимирязев говорил: « Дайте самому лучшему повару сколько угодно солнечного света и целую речку чистой воды и попросите, чтобы из всего этого он приготовил вам сахар, крахмал, жиры и зерно, – он решит, что вы над ним смеётесь. Но то, что кажется совершенно фантастическим человеку, беспрестанно совершается в зелёных листьях растений». В результате процесса фотосинтеза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была изучена и проанализирована научно-методическая и научная литература по проблеме исследования анатомо-морфологических и физиологических эффектов воздействия УФ-радиации на комнатные растения.

Таким образом, в результате проделанной работы сформулированы выводы о том, что:

1. Степень устойчивости листьев растений различных экологических групп к УФ-излучению как стресс фактору возрастает от мезогигрофитов к мезофитам и ксеромезофитам.

2. Более высокий уровень устойчивости герани душистой и хлорофитума пучковатого к действию ультрафиолета обусловлен более надежными механизмами стабилизации, поддерживающими параметры клеток как в нормальном состоянии (механизмы гомеостаза), так и в состоянии стресса (защитные механизмы).

3. У объектов, отличающихся повышенной надежностью к действию УФ-радиации, переход с толерантной зоны через точку бифуркации в последующее стационарное состояние – стресс происходит при больших дозах действующего фактора.

4. Дозовые кривые изучаемых объектов отражают как специфичность реакции на градуально нарастающее действие стресс фактора (начальные участки), так и неспецифичность их ответов на последующих стадиях реагирования.

5. Одна из причин относительно высокой устойчивости ксеромезофита (герани душистой) может быть обусловлена более совершенными механизмами адаптации её пигментов системы к действию УФ-излучения.

6. Косвенные результаты проведенного эксперимента свидетельствуют, что у изучаемых объектов существуют и другие

механизмы адаптации к ультрафиолету, не связанные с механизмами стабилизации содержания зеленых пигментов.

7. Повышение дозы коротковолнового ультрафиолетового излучения однозначно оказывают негативное влияние на растения различных экологических групп. Увеличение дозы этих лучей в солнечном спектре, вследствие истощения озонового слоя, может привести к экологической катастрофе.

8. В ходе исследовательской работы и описательной статистики был сделан вывод на основании проверки данных с помощью T-критерия Вилконсона, что изменения статистически достоверны.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алехина, Н. Д. Физиология растений [Текст] : учебник / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балконин, В. Ф. Гавриленко – Москва : Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.
2. Веселовский, В.А. Стресс растений. Биофизический подход [Текст] / В. Т. Веселова, Д. С. Чернавский. – Москва : Издательство Московского университета, 1993. – С. 553-557.
3. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по физиологии растений: учебник [Текст] : учебник / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина. – Москва : Высшая школа, 1975. – 302 с.
4. Генкель, П.А. Физиология жаро – и засухоустойчивости растений [Текст] : учебник / П. А. Генкель. – Москва : Наука, 1982. – 278 с.
5. Гиллер, Ю.Е. Действие ультрафиолетовой радиации (290 320 нм) на фотосинтетический аппарат [Текст] / Ю. Е. Гиллер, Б. Н. Липкинд. – Москва : Издательство Московского университета, 1994. – 644с.
6. Гиллер, Ю.Е. Действие средневолновой ультрафиолетовой радиации на физиологические процессы и продуктивность высших растений [Текст] / Ю. Е. Гиллер. – Москва : Издательство Московского университета, 1998. – 164 с.
7. Горднева, О. С. Влияние ультрафиолетовой радиации на первичные фотосинтетические реакции листьев пшеницы [Текст] : учеб. пособие для вузов / Т. В. Веселова, В. А. Веселовский, Т. Гун-Ажав. – Москва : Издательство Московского университета, 1988. – 127 с.
8. Горышкина, Т. К. Экология растений. [Текст] / Т. К. Горышкина. – Москва : Высш. шк., 1979. – 368 с.
9. Григорьев, Ю.С. Об экологическом значении опущения у растений в связи с некоторыми проблемами орошаемого земледелия [Текст] / Ю. С. Григорьев. – Санкт – Петербург : Издательство Санкт-Петербург ун-та, 1975. – С. 70 – 75.

10. Гродзинский, Д. М. Защита растений от лучевого поражения [Текст] / Д. М. Гродзинский, И. Н. Гудков. – Москва : Атомздат, 1973. – 211 с.
11. Гурский, А.В. Влияние ультрафиолетовой радиации на высшие растения [Текст] / А. В. Гурский, Л. Ф. Остапович, Ю. Р. Соколов. – Москва : Издательство Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, 1961. – 148 с.
12. Гэлстон, А. Жизнь зеленого растения [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Гэлсон, П. Девис, Р. Сэттер. – Москва : Мир, 1983. – 552 с.
13. Джумаев, Б.Б. Фотосинтетический метаболизм углерода и адаптация [Текст] / Б. Б. Джумаев. – Москва : Издательство Московского университета, 1997. – 179 с.
14. Дубров, А.П. Действие УФ – радиации на растения [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. П. Дубров. – Москва : Издательство АН СССР, 1963. – 123 с.
15. Дубров, А.П. Генетические и физиологические эффекты действия УФ-радиации на высшие растения [Текст] : учебное пособие / А. П. Дубров. – Москва : Наука, 1968. – 250 с.
16. Забиров, Р.Г. Влияние естественной ультрафиолетовой радиации на элементы строения стебля и продуктивность колоса растений пшеницы [Текст] / Р. Г. Забиров, И. А. Шульгин. – Москва : Издательство Московского университета, 1999, С. 172 – 183.
17. Канаш, Е.В. Фотосинтез и продуктивность растений [Текст] : учеб. пособие / Е. В. Канаш. – ВАСХНИЛ. Всерос. отд. – НИИ С.Х. Юго-Востока – Саратов, 1990. – С. 86 – 89.
18. Канаш, Е.В. Изменение продуктивности и содержания пигментов у растений фасоли при ультрафиолетовом стрессе [Текст] / Е. В. Канаш. – Саратов, 1990. – С. 89 – 94.
19. Канаш, Е.В. Изменение роста и продуктивности растений при облучении ультрафиолетовой радиации в различные периоды онтогенеза

[Текст] / Е. В. Канащ, В.Н. Савин, Б. А. Осипов. – Москва : Наука, 1988. – С. 26 – 33.

20. Карнаухов, В.Н. Биологические функции каротиноидов [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Карнаухов. – Москва : Наука, 1988. – 240 с.

21. Калевич, А.Е. Экологические аспекты действия ультрафиолетового излучения на растения [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Е. Калевич. – Пушкино: Институт почвовед. и фотосинтеза, 1991. – 24 с.

22. Кахнович, Л.В. Пигментный фонд хлоропластов в зависимости от спектрального состава света [Текст] / Л. В. Кахнович, М. Г. Гриц. – Москва : 1976. – 466 с.

23. Кузнецов, В. В. Физиология растений [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – Москва : Высшая школа, 2005. – 736 с.

24. Кудрявцева, В.А. Роль интенсивности света и восстановительных процессов в формировании генеративных органов растений [Текст] / В. А. Кудрявцева. – Москва : 1960. – 131с.

25. Ладыгин В.Г. Влияние состава каротинов на устойчивость клеток водорослей к действию УФ-излучения [Текст] : учебник / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова. – Москва : Издательство Московского университета, 1993. – С. 644 – 649.

26. Лысенко, В. С. Фотосинтез в хлорофилл-дефицитных тканях растений: флуоресцентные и фотоакустические исследования [Электронный ресурс]: монография / В. С.. Лысенко Изд-во ЮФУ, 2014 .— 137 с.— Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/637390> – (Дата обращения: 12.06.2019)

27. Любименко В.Н. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире: учебник [Текст] / В. Н. Ладыгин. – Москва : Сельхозгиз, 1935. – 320 с.

28. Медведев, С. С. Физиология растений [Текст] : учебник / С. С. Медведев. – Санкт – Петербург : Издательство Санкт – Петербургского университета, 2004. – 336 с.

29. Музафаров, Е. Н. Влияние УФ–В радиации на содержание фенольного комплекса и фитогормонов ИУК и АБК в растениях арабидопсиса дикого типа и мутантов tt4 и tt5 [Текст] / Е. Н. Музафаров, Дж. Эдвардс, Е. П. Иванова. – Москва : 2008. – 118 с.

30. Насыров, Ю.С. О механизме действия высокогорной УФ радиации на становление и функциональную активность фотосинтетического аппарата [Текст] / Ю. С. Насыров, З. Н. Абдурахманова, А. А. Эргашев, К. А. Алиев – Москва : 1971. – С. 53 – 56.

31. Огоева, Е. К. Анатомические изменения структуры листьев растений под действием естественной УФ радиации [Текст] / Е. К. Огоева, О. А. Акназаров. – Изв. АН Тадж ССРСР, Отд. биол. наук. 1988. – №3 (112), С. 58 – 62.

32. Одилбеков, К. К. Фоторегуляция роста и развития растений [Текст] : Авто-реф. канд. дисс. биол. наук. Душанбе / Одилбеков Кувватбек –1996. – 18 с.

33. Одилбеков, К. К. Рост и гормональные изменения в растениях под влиянием УФ радиации [Текст] / К. К. Одилбеков, С. Т. Шомансуров. – Москва : 1999. – 286 с.

34. Одилбеков, К. К. Изменение содержания эндогенных регуляторов роста растений под влиянием ультрафиолетовой радиации [Текст] / К. К. Одилбеков. – Москва : 2001. –194с.

35. Одилбеков, К.К. Действие УФ радиации на транспирацию и движение устьиц в листьях [Текст] / К. К. Одилбеков. – Москва : 2008. – С. 52 – 57.

36. Практикум по физико-химическим методам в биологии. Практическое пособие. – Москва : Изд-во МГУ, 1981. – 240 с.



37. Расулов, Б. К. Физиология фотосинтеза [Текст] / Б. К. Расулов, К. А. Асроров. – Москва : Наука, 1982. – 270 с.
38. Рубин Б.А. Биохимия и физиология фотосинтеза: учебник [Текст] / Б. А. Рубин, В. Ф. Гавриленко. – Москва : Изд-во МГУ, 1977. – 328 с.
39. Селье, Г. На уровне целостного организма [Текст] / Г. Селье. – Москва : Наука, 1990. – 212 с.
40. Тарчевский, И.А. Основы фотосинтеза [Текст] : учеб. пособие для биологических специальностей вузов / И. А. Тарчевский. – Москва : Высшая школа, 1997. – 253 с.
41. Усманов, П. Д. Физиология растений [Текст] / П. Д. Усманов, И. Г. Медник, Б. И. Липкин, Ю.Е. Гиллер. – Москва : 1987. – С. 720 – 729.
42. Чиркова, Т.В. Физиологические основы устойчивости растений [Текст] : учебное пособие / Т. В. Чиркова. – Изд. Санкт– Петербургского университета, 2002. – 240 с.
43. Чулановская, М.В. Влияние условий освещения на анатомическую структуру листа в связи с ростом и развитием растений [Текст] / М.В. Чулановская. – Москва : Высшая школа, 1961. – 113 с.
44. Шульгин, И.А. Оптические свойства растений в ультрафиолетовой области спектра [Текст] / И. А. Шульгин, А. Ф. Клешнин, В. З. Подольный. – Москва : 1960. – С. 141– 148.
45. Шульгин, И.А. Формирование оптического аппарата зеленого листа в связи с энергитической адаптацией к солнечной радиации [Текст] / И. А, Шульгин, Л. А. Ходоренко – Москва : 1969. – 263 с.
46. Якушкина Н.И. Физиология растений [Текст] : учеб. пособие для студентов биол. спец. высш. пед. учеб. заведений / Н. И. Якушкина – 2– е изд., перераб. – Москва : Просвещение, 1993. – 335с.
47. Mac-Kinney G. Absorption of light chlorophyll solutions. –J. Biol. Chem., 1941, v. 140, № 2. – С. 315-322.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Алгоритм расчета показателей описательной статистики и статистики выводов

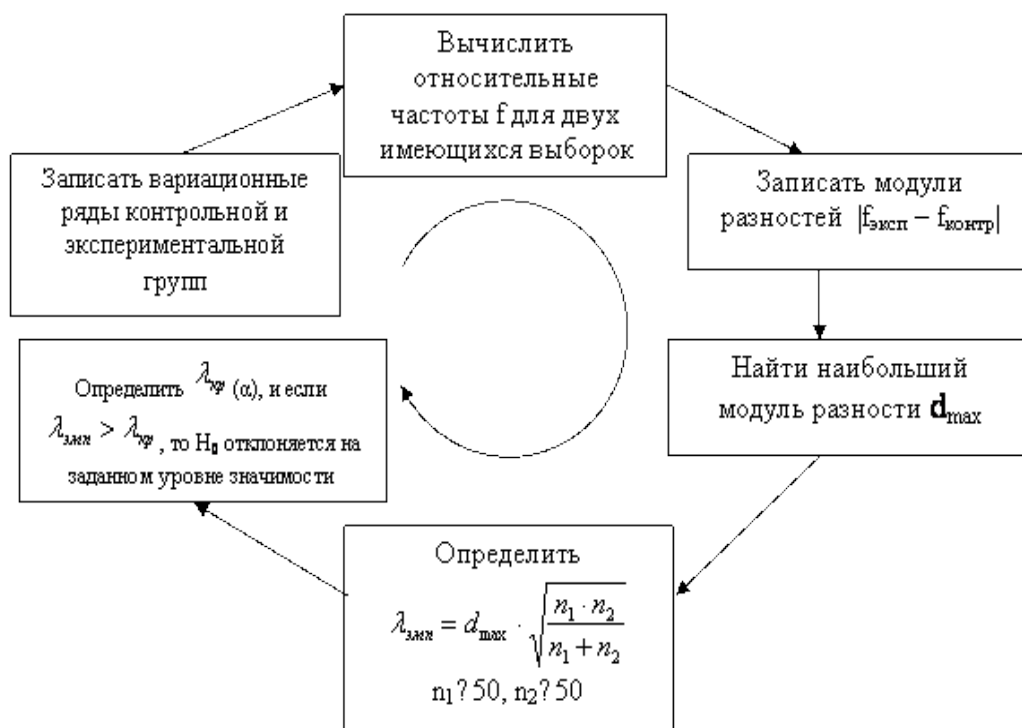
(расчеты\* показателей описательной статистики и критериев статистики выводов на основе собственных экспериментальных данных)

1. Расчет показателей нормальности распределения значений исследуемого признака.

### Критерий Колмогорова-Смирнова

Данный критерий также позволяет оценить существенность различий между двумя выборками, в том числе возможно его применение для сравнения эмпирического распределения с теоретическим. Критерий позволяет найти точку, в которой сумма накопленных частот расхождений между двумя распределениями является наибольшей, и оценить достоверность этого расхождения.

Схематично алгоритм применения критерия Колмогорова-Смирнова можно представить следующим образом:



Этапы вычислений:

1) Вычисляем относительные частоты для 2-х выборок:

Пигменты	Данные (частота) в контр.группе	Данные (частота) эксперим. группе
Хл «а»	0,666	0,417
Хл «в»	0,224	0,207
А «кар»	0,447	0,419
Хл «а»+ «в»	0,890	0,625
Объем выборки	$n_1= 2,227$	$n_2=1,668$

2) Далее определяем модуль разности соответствующих относительных частот для контрольной и экспериментальной выборок:

Относительная частота экспериментальной группы ( $f_{\text{экс}}$ )	Относительная частота контрольной группы ( $f_{\text{контр}}$ )	Модуль разности частот $ f_{\text{экс}} - f_{\text{контр}} $
$0,666/ 2,227 \approx 0,3$	$0,417/ 1,668 \approx 0,25$	0,05
$0,224/ 2,227 \approx 0,1$	$0,207/ 1,668 \approx 0,12$	0,02
$0,447/ 2,227 \approx 0,2$	$0,419/ 1,668 \approx 0,25$	0,05
$0,890/ 2,227 \approx 0,4$	$0,625/ 1,668 \approx 0,37$	0,03

3) Среди полученных модулей разностей относительных частот выбираем наибольший модуль, который обозначается  $d_{\text{max}}$ . В рассматриваемом примере  $0,05 > 0,02 > 0,03$  ; поэтому  $d_{\text{max}}=0,05$ .

4) Эмпирическое значение критерия  $\lambda_{\text{эмп}}$  определяется с помощью формулы:

$$\lambda_{\text{max}} = d_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} = 0,05 * \sqrt{(2,227 * 1,668)/(2,227 + 1,668)} =$$

$$= 0,05 * \sqrt{95} = 0,05 * 0,974 = 0,0487$$

5) Считая, что, по таблице определяем критическое значение критерия:

6)  $\lambda_{\text{кр}}(0,02)=0,0487$

Таким образом,  $\lambda_{\text{эмп}}=0,0487 > 0,02 = \lambda_{\text{кр}}$ .

Вывод:

– чем больше эмпирическое значение критерия, тем сильнее различаются характеристики сравниваемых объектов. Если эмпирич. значение критерия оказывается строго больше критического, то нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза – характеристики распределений считаются различными с достоверностью различий. Использование данного критерия позволяет определить, подчиняется ли распределение нормальному распределению. Т.к. критерий Колмогорова-Смирнова попадает в зону значимости, следовательно, эмпирическое распределение отличается от теоретического распределения (нормального распределения).

2. Расчет показателей описательной статистики значений исследуемого признака с целью получения агрегированных оценок первичных данных.

$$1) M = (0,443+0,513+0,608) / 3 = 0,521$$

$$2) M_0 = 0,608$$

$$3) M_d = 0,443$$

$$4) \pm \delta = \sqrt{\frac{\sum(0,666-0,521)^2}{4-1}}=0,01$$

$$5) m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,01}{2} = 0,005$$

$$6) S = \frac{\sum(0,01-0,521)^2 \cdot 4}{8} = \frac{2,08}{8} = 0,26$$

3. Расчет доверительного интервала

$$\text{Дисперсия } D = \sigma^2 = 0.011^2 = 0.000121$$

Вероятность попадания величины  $X$  в заданный интервал  $(\alpha ; \beta)$ .

$$P(\alpha < X < \beta) = F\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right) - F\left(\frac{\alpha - a}{\sigma}\right)$$

где  $\Phi(x)$  — функция Лапласа

Учитывая, что функция Лапласа нечетная, т.е.  $\Phi(-x) = -\Phi(x)$ , получим:

$$P(<X<) = F\left(\frac{-0.521}{0.011}\right) - F\left(\frac{-0.521}{0.011}\right) = F(-47.3636) - F(-47.3636) = -0.49999 + 0.49999 = 0$$

Вероятность того, что абсолютная величина  $|X-a|$  отклонения окажется меньше  $\delta$ .

Вероятность того, что отклонение нормально распределенной случайной величины от ее математического ожидания по абсолютной величине не превзойдет некоторого положительного числа  $\delta$ , то есть  $|X - a| < \delta$ , определяется так:

$$P(|X - a| < \delta) = 2F\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)$$

$$P(|X - 0.521| < 0.011) = 2F\left(\frac{0.011}{0.011}\right) = 2F(1) = 2 \cdot 0.5 = 1$$

Стандартная ошибка выборки.

$$s_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.011}{\sqrt{3}} = 0.00635$$

Доверительный интервал для генерального среднего.

$$\left(\bar{x} - t_{kp} \frac{s}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{kp} \frac{s}{\sqrt{n}}\right)$$

Поскольку  $n \leq 30$ , то определяем значение  $t_{kp}$  по таблице распределения Стьюдента

По таблице Стьюдента находим:

$$T_{\text{табл}}(n-1; \alpha/2) = (3; 0.025) = 4.303$$

$$\epsilon = t_{kp} \frac{s}{\sqrt{n}} = 4.303 \frac{0.011}{\sqrt{3}} = 0.0273$$

$$(0.521 - 0.0273; 0.521 + 0.0273) = (0.49; 0.55)$$

С вероятностью 0.95 можно утверждать, что среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала.

Доверительный интервал для дисперсии.

Вероятность выхода за нижнюю границу равна  $P(\chi^2_{n-1} < h_H) = (1-\gamma)/2 = (1-0.95)/2 = 0.025$ . Для количества степеней свободы  $k = 2$  по таблице распределения  $\chi^2$  находим:

$$\chi^2(2; 0.025) = 7.37776.$$

Случайная ошибка дисперсии нижней границы:

$$t_H = \frac{(n-1)S^2}{h_H}$$

$$t_H = \frac{2 \cdot 0.011^2}{7.37776} = 3.3E-5$$

Вероятность выхода за верхнюю границу равна  $P(\chi^2_{n-1} \geq h_B) = 1 - P(\chi^2_{n-1} < h_H) = 1 - 0.025 = 0.975$ . Для количества степеней свободы  $k = 2$ , по таблице распределения  $\chi^2$  находим:

$$\chi^2(2;0.975) = 0.05064.$$

Случайная ошибка дисперсии верхней границы:

$$t_B = \frac{(n-1)S^2}{h_H}$$

$$t_B = \frac{2 \cdot 0.011^2}{0.05064} = 0.00478$$

Таким образом, интервал  $(3.3E-5; 0.00478)$  покрывает параметр  $S^2$  с надежностью  $\gamma = 0.95$

Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения.

$$S(1-q) < \sigma < S(1+q)$$

Найдем доверительный интервал для среднеквадратического отклонения с надежностью  $\gamma = 0.95$  и объему выборки  $n = 3$

По таблице  $q=q(\gamma ; n)$  определяем параметр  $q(0.95;3) = 1.37$

$$0.011(1-1.37) < \sigma < 0.011(1+1.37)$$

$$-0.00407 < \sigma < 0.0261$$

Таким образом, интервал  $(-0.00407; 0.0261)$  покрывает параметр  $\sigma$  с надежностью  $\gamma = 0.95$

### 3. Размах от медианы:

Размахом называется разность между наибольшим и наименьшим элементами средней выборки:

$$\text{Размах} = M_{\text{Max}} - M_{\text{Min}} = 0,812 - 0,145 = 0,667$$

### 4. Определение «*max*» и «*min*» средней выборки:

$$0,521$$

$$0,378$$

$$0,307$$

$$0,463$$

$$0,291$$

0,176  
 0,145 – «*min*»  
 0,219  
 0,422  
 0,462  
 0,185  
 0,187  
 0,812 – «*max*»  
 0,554  
 0,452  
 0,682

5. Расчет частоты:

Относительная частота – это отношение частоты к общему числу данных в ряду. Как правило, относительная частота выражается в процентах.

<i>Значение</i> <i>M<sub>d</sub></i>	0,608	0,573	0,422	0,601	0,315	0,207	0,248	0,310	0,340	0,215	0,240	0,212	0,879	0,713	0,670	0,744
<i>Частота</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Расчет</i>	1:0,608	1:0,573	1:0,422	1:0,601	1:0,315	1:0,207	1:0,248	1:0,310	1:0,340	1:0,215	1:0,240	1:0,212	1:0,879	1:0,713	1:0,670	1:0,744
<i>Относительная частота</i>	1,644%	1,745%	2,369%	1,663%	3,174%	4,830%	4,032%	3,225%	2,941%	4,651%	4,166%	4,716%	1,137%	1,402%	1,492%	1,344%

6. Непараметрический критерий:

Для подсчета этого критерия нет необходимости упорядочивать ряды значений по нарастанию признака. Первый шаг в подсчете Т-критерия – вычитание каждого индивидуального значения "до" из значения "после".

До измерения, $t_{до}$	После измерения, $t_{после}$	Разность ( $t_{до}-t_{после}$ )	Абсолютное значение разности
0.521	0.378	-0.143	0.143
0.463	0.291	-0.172	0.172
0.422	0.462	0.04	0.04
0.812	0.554	-0.258	0.258

Гипотезы.

$H_0$ : Показатели после проведения опыта меньше значений показателей до эксперимента.

$H_1$ : Показатели после проведения опыта превышают значения показателей до эксперимента.

До измерения, $t_{до}$	После измерения, $t_{после}$	Разность ( $t_{до}-t_{после}$ )	Абсолютное значение разности	Ранговый номер разности
0.521	0.378	-0.143	0.143	2
0.463	0.291	-0.172	0.172	3
0.422	0.462	0.04	0.04	1
0.812	0.554	-0.258	0.258	4
Сумма				10

Сумма по столбцу рангов равна  $\sum=10$

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+4)4}{2} = 10$$

Сумма по столбцу и контрольная сумма равны между собой, значит,



ранжирование проведено правильно.

Теперь отметим те направления, которые являются нетипичными, в данном случае – положительными. В Таблице эти направления и соответствующие им ранги выделены цветом. Сумма рангов этих «редких» направлений составляет эмпирическое значение критерия Т:

$$T = \sum R_i = 1 = 1$$

По таблице Приложения находим критические значения для Т-критерия Вилкоксона для  $n=4$ :

$$T_{кр} = (p \leq 0.01)$$

$$T_{кр} = (p \leq 0.05)$$

Зона значимости в данном случае простирается влево, действительно, если бы "редких", в данном случае отрицательных, направлений не было совсем, то и сумма их рангов равнялась бы нулю.

В данном же случае эмпирическое значение Т попадает в зону незначимости:  $T_{эмп} > T_{кр}(0,05)$ .

Гипотеза  $H_0$  отвергается. Показатели после эксперимента превышают значения показателей до опыта.

## 7. ВЫВОДЫ:

–Результаты опытов свидетельствуют о том, что научные объекты имеют неодинаковое исходное содержание как основных, так и дополнительных пигментов. По-разному отреагировали они изменением пигментного состава и на воздействие УФ-радиации. Полученные данные свидетельствуют о том, что на минимальную дозу УФ-излучения (1 мин) каждый объект отреагировал по-своему. В листьях герани душистой произошло незначительное повышение содержания как основных, так и дополнительных пигментов. Это согласуется с данными Дубова А.П. (1963), согласно которым даже при кратковременном воздействии УФ-радиации может стимулироваться как образование протохлорофилла, так и его переход в хлорофилл.