

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Кафедра лазерной и световой техники
Направление 12.03.02 Оптотехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Люминесценция растений на различных стадиях роста и развития

УДК 581.1-046.45

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В31	Скрипина Татьяна Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
проф. каф. ЛиСТ	Корепанов В. И.	д. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. МЕН	Меньшикова Е. В.	к. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
проф. каф. ЭБЖ	Назаренко О. Б.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЛиСТ	Полисадова Е. Ф.	к.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки (специальность) 12.03.02 «Оптотехника»
 Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Е. Ф. Полисадова

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4В31	Скрипина Т. С.

Тема работы:

Люминесценция растений на различных стадиях роста и развития	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.12.2016, №10551/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Литература по теме ВКР. Объект исследования — флуоресценция растений и ее зависимость от параметров окружающей среды. Предмет исследования — зеленые растения (томаты, базилик, салат) Аппаратура — спектрофлуориметр Cary Eclipse фирмы Agilent, спектрометр Ava Spec фирмы Avantes.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсужде-</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обоснование принципа оценки состояния растений по спектрально-кинетическим характеристикам люминесценции растений; 2. Обоснование и выбор параметра для оценки скорости фотосинтеза по спектрально-кинетическим характеристикам люминесценции растений;

<i>ние результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	3. Обоснование и выбор методов и средств измерения.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Спектрально-кинетические характеристики исследуемых растений.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Меньшикова Е. В.
Социальная ответственность	Назаренко О. Б.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<i>перевод осуществляться не будет</i>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
проф., д. ф.-м. н.	Корепанов В. И.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В31	Скрипина Т. С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4В31	Скрипиной Татьяне Сергеевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛИСТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Материальные расходы 639,8 руб.; Зарботная плата 2 013,6 руб.; Бюджет НИИ 87 066,8 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф на электроэнергию 5,8 руб., норма амортизации оборудования 20%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды составляет 27,1%, районный коэффициент для Томска равен 1,3.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей НИИ, его конкурентоспособности, перспектив развития разработки.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Расчет бюджета НИИ и затрат на его проведение.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсосберегающей эффективности исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. МЕН	Меньшикова Е. В.	к. ф. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В31	Скрипина Татьяна Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В31	Скрипиной Татьяне Сергеевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Характеристика работы: анализ литературы по теме исследования, работа со спектральными приборами типа CaryEclipse и Ava Spec
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p>Выявлены вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Микроклимат; – Освещённость; – Шум; – Превышение уровня электромагнитных излучений – Психо-эмоциональное напряжение. <p>Выявлены опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Вероятность поражения электрическим током
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Угрозу экологии представляет утилизация используемого оборудования.</p>

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Существует вероятность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>К правовым мерам обеспечения безопасности относится организация рабочего пространства и соблюдение режима труда-отдыха</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф ЭБЖ	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В31	Скрипина Татьяна Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 26 рис., 20 табл., 18 источников.

Ключевые слова: люминесценция растений, флуоресценция, фотосинтез, флуоресценция хлорофилла, люминесцентный анализ.

Объектом исследования является флуоресценция хлорофилла растений и ее зависимость от параметров окружающей среды и условий роста растения.

Цель работы — анализ люминесцентных методов исследования состояния развития растений (интенсивности фотосинтеза) и методик исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений в процессе их вегетации на основе имеющегося на кафедре оборудования.

В процессе исследования проводились сбор, обработка и анализ литературных данных о методиках исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции и о приборах, осуществляющих измерение этих характеристик, разработка схемы и методики их измерений на имеющемся оборудовании.

В результате исследования получены спектрально-кинетические характеристики некоторых растений, сделаны выводы о возможности использования разработанной методики.

Степень внедрения: результаты данной работы могут быть положены в основу созданию люминесцентной экспресс-методики оценки состояния роста и развития растений при использовании светодиодных систем облучения в теплицах.

Область применения: анализ состояния растений на различных стадиях роста и развития.

Экономическая значимость работы обусловлена отсутствием на российском рынке дешевых и функциональных аналогов.

В будущем планируется разработка установки для изучения спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений по разработанной методике.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

НАДФ — никотинамидадениндинуклеотидфосфата

АТФ — аденозинтрифосфата

ФСА — фотосинтетический аппарат

ФС1 и ФС2 — фотосистемы 1 и 2, соответственно

Оглавление

	с.
Введение	11
1. Обзор литературы	14
1.1 Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения. Зависимость фотосинтеза от факторов внешней среды	14
1.2 Методы определения интенсивности фотосинтеза	18
1.3 Люминесценция растений	18
1.4 Параметры люминесценции листьев и плодов растений, индексы и их связь с процессами в фотосинтетическом аппарате, состоянием растений	23
1.5 Методы и аппаратура для исследования люминесценции листьев и плодов растений и контролируемые с их помощью процессы	24
2. Объекты и методы экспериментального исследования	29
3. Экспериментальная часть	30
3.1 Анализ параметров люминесценции растений для оценки их состояния	30
3.2 Выбор и описание прототипа	34
3.3 Методы приема и фильтрации сигнала	35
3.4 Разработка схемы измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции листьев и плодов растений в фитотроне на основе имеющегося оборудования	39
3.5 Методики измерений	45
3.6 Анализ режимов измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений	46
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
5. Социальная ответственность	68
Заключение	78
Список публикаций студента	80
Список используемых источников	81

Введение

Актуальность работы. Исторически российский климат не располагал к высокой урожайности и разнообразию культур. Хорошо известны выражения «сам друг», «сам три», «сам пять», означающие соотношение между посаженным и собранным урожаем. В целом по России это соотношение не превышало 10, притом в более северных регионах оно ниже, чем в южных. Это связано с тем, что

1. На территории России мало плодородных и естественным образом удобряемых почв;
2. В России снежный покров лежит до 6 месяцев;
3. Зимой и осенью мало солнечного света;
4. Характерны большие перепады температур за короткий период времени

Поэтому повышение урожайности различными методами на территории России актуально. Частично с этим справляются различные удобрения, однако их производство само по себе может быть опасным. Также следует учесть, что часть культур идет на корм животным, которых невозможно пасти в холодный период года.

Для определения оптимальных условий роста растений с желаемыми свойствами необходимо контролировать эти условия и изучать реакцию растений на внешние раздражители.

Для контроля условий роста растений существует прибор «фитотрон», в котором возможно искусственно контролировать один или несколько параметров окружающей среды. Такими параметрами, например, являются: режим и спектральный состав освещения, частота полива, газовый состав атмосферы, количество и состав удобрений почвы. При разных сочетаниях этих параметров наблюдаются улучшения в росте различных органов растения. Например, набор значений параметров, оптимальный для роста листьев, отличается от того, что обеспечивает наиболее эффективный рост плодов.

Реакцию растения на изменение одного или нескольких параметров можно получать разными способами. Так, например, можно регулярно снимать пробу биомассы растения, обрабатывать определенным образом и после получать данные о реакции растения. Однако, анализ состояния растения должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Процесс измерения не должен влиять на форму и состояние растения (измерения с куста)
2. Процесс измерения не должен вносить изменения в какой-либо параметр окружающей среды;
3. Измерение должно происходить на месте (быстро) и давать быстрый результат.

Всеми этим условиям могут удовлетворять оптические методы контроля. Эти методы позволяют получать результат дистанционно, воздействуя на растение лишь оптическим излучением в короткий промежуток времени, что не влияет на форму и состояние растения. Одним из них и является изучаемый в данной работе метод исследования спектрально-люминесцентных характеристик растений.

Здесь информация о состоянии растения и его реакции на изменения параметра среды содержится в спектрах и кинетиках люминесценции хлорофилла, содержащегося в растении. Это обусловлено тем, что в возбужденном хлорофилле процессы флуоресценции, нефотохимического (теплового преобразования энергии) и фотосинтеза (фотохимического преобразования энергии) конкурируют друг с другом, следовательно, анализируя флуоресценцию хлорофилла можно судить об интенсивности фотосинтеза и состоянии растения.

Для анализа этого сигнала необходим специализированный прибор, который позволит получать как спектр люминесценции, так и ее кинетики. В наши дни создано много хороших приборов для изучения люминесценции растений. Но они слишком дороги, сложны в эксплуатации и имеют узкую специализацию, не подходящую в данной работе. По этим причинам они не могут быть использованы.

Таким образом необходимо разработать собственный стенд, позволяющий проводить исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции, который при измерении не будет влиять на исследуемое растение и условия его роста и развития и при этом будет достаточно простым и дешевым.

В настоящее время, чтобы определить оптимальные режимы облучения, требуется изучить рост и развитие растения при различных режимах работы светодиодных ОБУ в течении всего периода вегетации, то есть в течении нескольких месяцев или лет. Владение экспресс-методикой оценки реакции растения на изменение параметров облучения существенно ускорит выявление оптимальных режимов облучения различных видов растений.

Целью настоящей работы является анализ люминесцентных методов исследования состояния развития растений (интенсивности фотосинтеза) и методик исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений в процессе их вегетации на основе имеющегося на кафедре оборудования.

Задачи настоящей работы:

1. Обоснование принципа оценки состояния растений по спектрально-кинетическим характеристикам люминесценции растений;
2. Обоснование и выбор параметра для оценки скорости фотосинтеза по спектрально-кинетическим характеристикам люминесценции растений;
3. Обоснование и выбор методов и средств измерения.

1. Обзор литературы

1.1. Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения. Зависимость фотосинтеза от факторов внешней среды

Известно, что при изменении различных факторов окружающей среды, в первую очередь изменяются концентрация и фотосинтетическая активность клеток растения. Таким образом, функционирование фотосинтетического аппарата (ФСА) оказывается наиболее информативным для определения текущего состояния растения [1]. Следовательно, нужно определить, каким образом этот процесс зависит от параметров окружающей среды. Для этого рассмотрим основные процессы, протекающие в фотосинтетическом аппарате растения.

Процесс фотосинтеза происходит в две стадии: световую и темновую, которые неразрывно связаны между собой. Во время световой стадии поглощенная пигментами фотосинтетического аппарата, хлоропластами, энергия солнечного излучения преобразуется непосредственно в энергию химических связей продуктов фотосинтеза (НАДФ и АТФ). Темновая же стадия заключается в восстановлении CO_2 [2].

Рассмотрим эти стадии подробнее. Первичные реакции запасания энергии происходят в световую стадию в мембранной системе хлоропластов, тилакоидах. В ходе этих реакций перенос энергии проходит по, так называемой, Z-схеме (рис. 1.1.1), согласно которой перенос электронов осуществляется при помощи двух последовательно работающих фотохимических активных систем, ФС1 и ФС2. Эти пигментные системы различаются по спектру поглощения, хлорофилл ФС1 поглощает в более длинноволновой области, чем в ФС2 (рис. 1.1.2) [3].

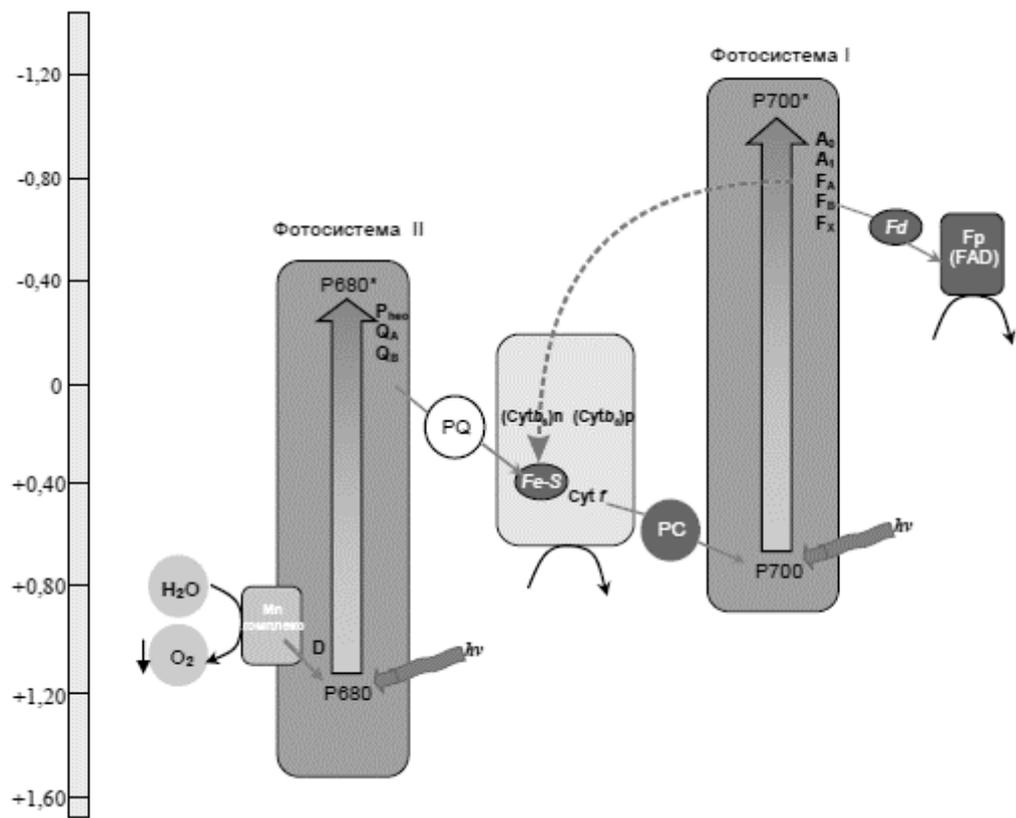


Рисунок 1.1.1. Z-схема фотосинтеза

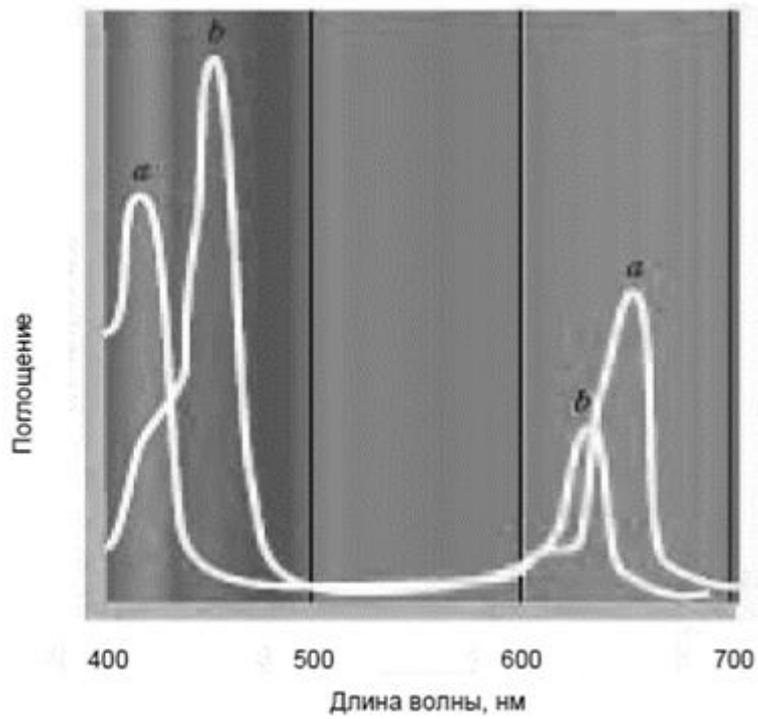
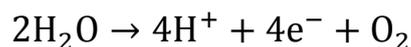


Рисунок 1.1.2. Спектры поглощения хлорофиллов а и б

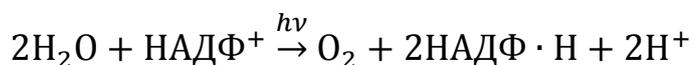
Попадая на растения, кванты света поглощаются ФС1 и богатые энергией электроны выбрасываются из реакционного центра. Далее по цепи переносчиков электронов они передаются на НАДФ⁺, восстанавливая его в НАДФ · Н, в результате чего в ФС1 возникает дырка. Эта дырка заполняется затем электроном, выбрасываемым ФС2 при ее освещении. Он попадает в ФС1 по цепи переносчиков, связывающей две фотосистемы. Однако, это приводит к возникновению дырки в ФС2, которая, в свою очередь, заполняется электроном, высвобожденным при расщеплении H₂O. Всего при расщеплении молекулы воды имеем:

1. Электроны, заполняющие дырки в ФС2;
2. Н⁺ — ионы, поступающие в среду;
3. Молекулярный кислород, выделяемый в газовую фазу [4].

Уравнение для расщепления воды имеет вид:



Таким образом, Z-схема описывает весь путь передачи электрона, а соответственно и энергии, от H₂O к НАДФ⁺, согласно уравнению:



На один электрон, передаваемый от H₂O к НАДФ⁺, должно поглощаться два кванта света, по одному кванту на каждую фотосистему. Значит для образования одной молекулы кислорода от H₂O к НАДФ⁺ необходимо передать четыре электрона, т. е. должно быть поглощено восемь квантов света, по четыре на каждую фотосистему.

В темновую стадию происходит синтез глюкозы из углекислого газа по так называемому циклу Кальвина в строме хлоропластов. Эта стадия следует за световой, так как образование молекулы глюкозы (C₆H₁₂O₆) происходит с участием АТФ и НАДФ. Свет не участвует в процессах этой стадии непосредственно, но является одним из регулирующих факторов.

Рассмотрим также структуру фотосинтетического аппарата. Светопоглощающие пигменты собраны в функциональные ансамбли, так называемые фотосистемы. Все пигментные молекулы фотосистемы поглощают фотоны, но только

одна из них может превращать световую энергию в химическую. Эта специализированная пигментная молекула, трансформирующая энергию, представляет собой молекулу хлорофилла, соединенную с особым белком и получила название фотохимический реакционный центр (РЦ). Остальные пигментные молекулы в фотосистеме называются светособирающими или антенными молекулами. Их функция заключается в поглощении световой энергии и транспортировке ее в РЦ, в которых и происходит фотохимический акт.

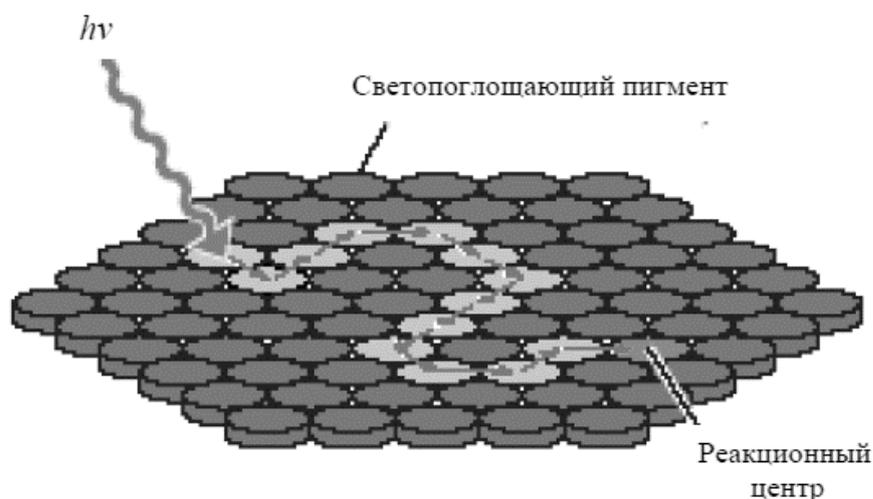


Рисунок 1.1.3. Схема миграции энергии возбуждения в фотосистеме от светособирающих молекул к фотореакционному центру

Видно, что наибольшим образом на процесс фотосинтеза влияет освещение растения. Это времена темнового и светового периодов, а также спектральный состав и интенсивность освещения. Также свет может служить не только возбуждающим фотосинтез фактором, но и повреждающим. Чрезмерная интенсивность освещения ведет к разрушению РЦ растения. Кроме освещения, на процесс может влиять нехватка воды и углекислого газа, также участвующих в процессах фотосинтеза. Менее очевидным является влияние температуры окружающей среды на процесс фотосинтеза. Однако, температура влияет на расстояние между донором и акцептором электронов, входящих в состав РЦ, и, следовательно, влияет и на скорость и возможность передачи электронов.

1.2. Методы определения интенсивности фотосинтеза

Для определения интенсивности фотосинтеза достаточным является определение количества хлорофилла, содержащегося в растении, т. к. именно в молекулах хлорофилла и происходит процесс фотосинтеза.

Количественный анализ хлорофилла можно производить несколькими методами. Самые очевидные из них — это группа химических методов. Эти методы, в общем случае, заключаются в химическом анализе образца, отнятого от исследуемого растения, т. е. проведения серии качественных реакций с образцом. Химические методы являются разрушающими и требуют длительного времени для получения результата.

Менее очевидными, но не менее информативными, являются оптические методы определения количества хлорофилла растения. Эта группа методов, в отличие от химических, является неразрушающей, т. е. не требует отделения образца от растения. Кроме того, оптические методы позволяют определить интенсивность фотосинтеза, минуя оценку количества хлорофилла. Среди оптических методов можно выделить два: измерение отражения (либо поглощения) света растением и флуоресценции.

В данной работе сделан упор на флуоресцентные методы оценки интенсивности фотосинтеза. Эти методы являются наиболее объективными, неразрушающими и позволяют в течение короткого времени получать данные о состоянии ФСА растений в естественной среде обитания (даже при наличии сильной фоновой засветки) в реальном времени [1].

1.3. Люминесценция растений

В растениях под действием света происходит множество фотобиологических процессов, в результате которых оно получает информацию об окружающей среде (например, фототаксис, фототропизм), запасает энергию (фотосинтез) или биосинтезирует новые вещества. Перечисленные реакции относятся к

реакциям, протекающим с поглощением кванта света. Существуют также реакции с испусканием света (био- и хемилюминесценция). Последние могут быть использованы для получения информации о состоянии растения.

Для анализа состояния растения, однако, наибольший интерес представляет флуоресценция хлорофилла.

1.3.1. Спектры люминесценции

Спектры люминесценции растений разнятся в зависимости от соотношения содержащихся в них хлорофиллов *a* и *b*, т.к. спектры люминесценции этих хлорофиллов имеют максимумы на разных длинах волн.

Эти данные проверены в предварительных опытах, результаты которых представлены на рис. 1.3.1.1.

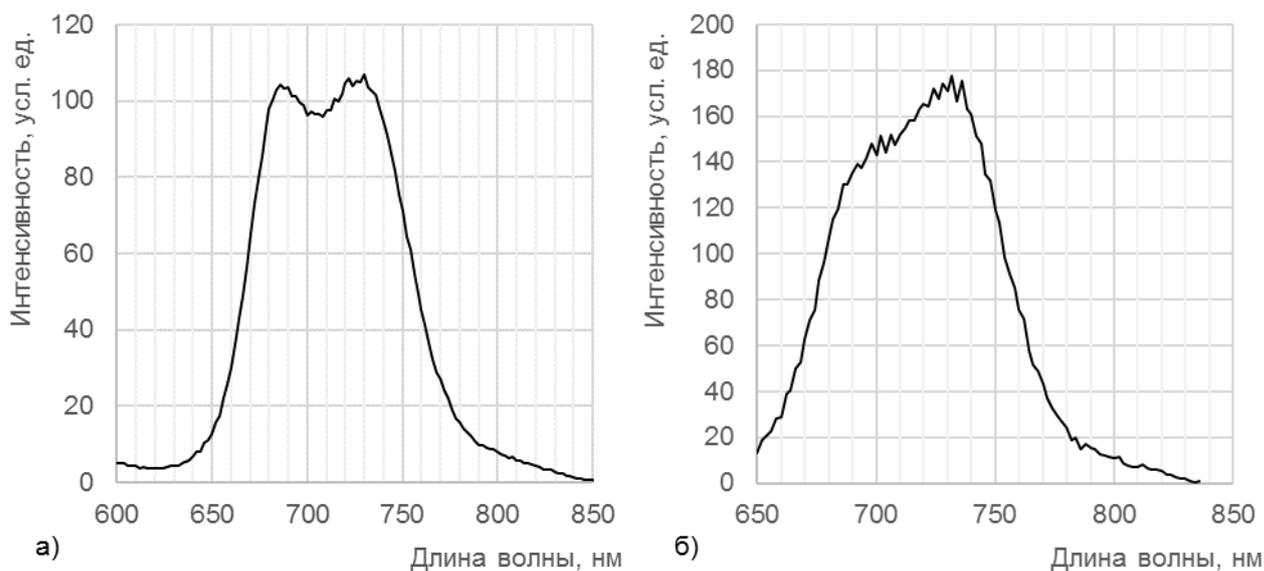


Рисунок 1.3.1.1. Спектры люминесценции листьев мандарина при разных длинах волн возбуждения: а) 440 нм, б) 600 нм.

Из приведенных выше спектров видно, что хлорофилл листьев мандарина имеет 2 максимума люминесценции, приблизительно 690 нм и 730 нм, которые также возбуждаются светом разной длины волны с различной эффективностью.

Так, например, максимум 730 нм эффективнее возбуждается более длинноволновым излучением. Следовательно, на основе приведенных в [5] спектров поглощения хлорофиллов *a* и *b* можно сказать, что пик, сильнее возбуждаемый светом с длиной волны 440 нм является максимумом флуоресценции хлорофилла *a*, а возбуждаемый светом с длиной волны 600 нм — максимумом флуоресценции хлорофилла *b*.

1.3.2. Кинетика люминесценции

Кинетика люминесценции, или индукционная кривая флуоресценции, это кривая, которая показывает изменение интенсивности люминесценции во времени. Для получения этой характеристики, чаще всего, образец (растение) подготавливают к измерению, а именно его помещают в темноту не менее чем на минуту для адаптации к темноте. В таком случае, при воздействии на растение возбуждающего излучения, можно наблюдать изменение интенсивности люминесценции хлорофилла во времени. Эта кривая имеет сложную форму (рис. 1.3.2.1), характеризующую определенные процессы, происходящие в РЦ хлорофилла [6].

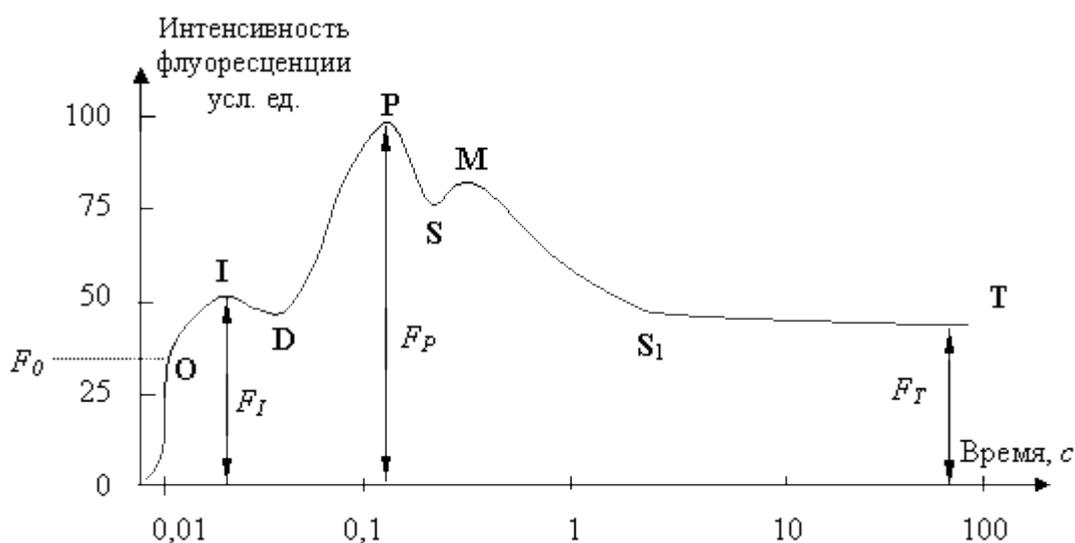


Рисунок 1.3.2.1. Типичная индукционная кривая флуоресценции хлорофилла

Рассмотрим кривую подробнее:

Данная кривая разбита на несколько характерных участков. Участок O-I-D-P называют быстрой фазой, т. к. характерное ее время составляет 1-3 с. Участок P-S-M-T называют медленной фазой, ее характерное время составляет от десятков секунд до нескольких минут. [7]

Сначала интенсивность флуоресценции быстро возрастает до точки O, интенсивность в которой соответствует квантовому выходу флуоресценции при открытых РЦ (F_0). После этого, при достаточно высокой интенсивности воздействующего света, выход флуоресценции достигает максимального значения F_m (F_p на рис. 1.3.2.1). Далее интенсивность флуоресценции хлорофилла снижается, что обусловлено возрастанием фотохимического тушения при ускорении транспорта электронов и соответствующим уменьшением степени восстановленности первичного акцептора (Q_A) ФС2, а также развитием процессов нефотохимического тушения. В адаптированных к темноте растениях первичный акцептор находится в окисленном состоянии и, следовательно, может принимать электроны от восстановленного первичного акцептора в ФС2. Однако, по мере восстановления Q_A и снижения потока электронов, интенсивность флуоресценции возрастает, а затем падает по мере усиления оттока электронов. Следовательно, максимальная интенсивность флуоресценции отражает динамическое равновесие процесса восстановления Q_A и последующего его окисления следующими переносчиками электрона [8].

Таким образом, кинетика флуоресценции хлорофилла дает нам следующие параметры:

- F_0 — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла в отсутствие постоянной подсветки после длительной адаптации пробы в темноте при возбуждении тестирующим светом, не приводящим к закрытию РЦ и не приводящим к изменению состояния фотосинтетического аппарата;
- F_m — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла в отсутствие постоянной подсветки после длительной адаптации пробы в темноте при возбуждении светом, приводящим к полному закрытию РЦ, и достижении стационарного уровня;

- F_t — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла при длительной постоянной подсветке;
- F'_m — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла при длительной постоянной подсветке объекта и его возбуждении светом, приводящим к полному закрытию РЦ фотосинтетического аппарата.

1.3.3. Механизмы диссипации энергии в клетках растений

Энергия в клетки растений извне поступает в виде солнечного света, падающего на листья, богатые хлорофиллом. Следовательно, диссипация энергии в клетках растений происходит, в основном, в ФСА. При попадании и поглощении света, молекулы хлорофилла переходят в возбужденное состояние. Известно, что естественное время жизни возбужденного состояния ароматических соединений, в том числе и хлорофилла, составляет величину порядка $5 \cdot 10^{-9}$ с [9]. За это время энергия возбуждения молекулы может расходоваться в процессе фотосинтеза (фотохимические преобразования энергии или фотохимическое тушение), перейти в тепло (нефотохимическое тушение), либо испуститься в виде кванта света (флуоресценция). Такое распределение энергии можно представить в виде схемы, где k_p , k_d и k_f — константы, характеризующие путь передачи энергии:

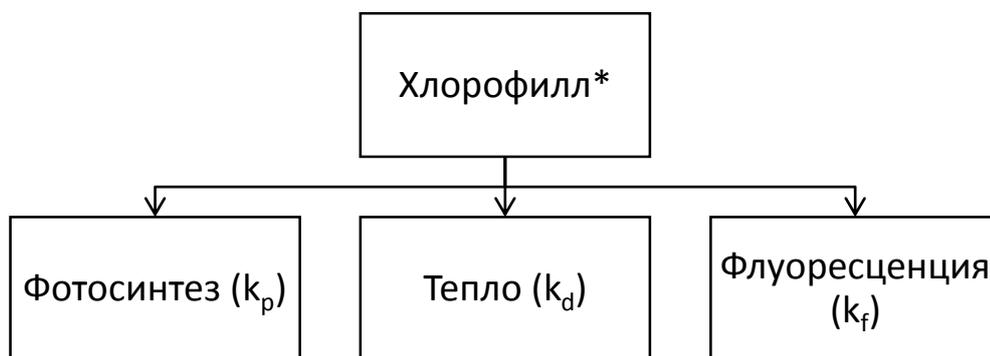


Рисунок 1.3.3.1. Схема диссипации энергии возбужденного хлорофилла

Следовательно, фотосинтез, флуоресценция и нагрев являются конкурентными процессами. Отсюда и вытекает возможность анализа процесса фотосинтеза при анализе флуоресценции хлорофилла. Тогда, по аналогии с люминесценцией в твердых телах [10], можно определить квантовый выход η и время жизни τ флуоресценции хлорофилла по следующим формулам:

$$\eta = \frac{k_f}{k_f + k_d + k_p}; \quad \tau = \frac{1}{k_f + k_d + k_p}.$$

Соответственно, если передача энергии на фотосинтез невозможна, $k_p = 0$ имеем предельный случай:

$$\eta_m = \frac{k_f}{k_f + k_d}.$$

Так как тепловые потери, как правило, пренебрежимо малы, зная квантовый выход флуоресценции хлорофилла, можно оценить способность растения к фотосинтезу в текущих условиях.

1.4. Параметры люминесценции листьев и плодов растений, индексы и их связь с процессами в фотосинтетическом аппарате, состоянием растений.

Состояние растения можно оценить, исходя из данных, полученных из кинетических характеристик его флуоресценции (п. 1.3.2). При помощи полученных параметров возможно вычислить следующие показатели состояния ФСА:

- 1) Максимальный квантовый выход разделения зарядов в ФС2. Определяется как отношение: $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. Этот параметр пропорционален доле активных РЦ ФС2 в темноте и соответствует потенциальной эффективности процессов фотосинтеза;
- 2) Фотохимическое тушение на фоновом свете определяется как:
 $qP = (F'_m - F_t)/(F'_m - F'_0)$;
- 3) Нефотохимическое тушение на фоновом свете определяется как:
 $NQP = (F_m/F'_m) - 1$;

- 4) Квантовый выход фотохимического преобразования поглощенной световой энергии в ФС2 определяется как отношение $Y = (F'_m - F_t)/F'_m$. Этот параметр отражает нециклический транспорт электронов при фотосинтезе.
- 5) Скорость переноса электронов от Qa к Qb, а также размер световой антенны и пула хинонов. Вычисляется по кинетике роста интенсивности флуоресценции хлорофилла от F0 к Fm [1].

1.5. Методы и аппаратура для исследования люминесценции листьев и плодов растений и контролируемые с их помощью процессы

При рассмотрении вопроса об уже используемых методах изучения люминесценции был рассмотрен ряд статей, описывающих изучение люминесценции различных растительных объектов. Из изученных данных очевидно, что выбор методики непосредственно зависит от того, какая часть растения исследуется.

Так, например, в статье [11] исследуются клетки меристемной ткани винограда. Меристемная, или образовательная, ткань — вид ткани растения, состоящей из непрерывно делящихся клеток, способных при этом сохранять физиологическую активность на протяжении всей жизни, обеспечивающих непрерывное нарастание массы растения и предоставляющих материал для образования различных специализированных тканей. Сперва меристемная ткань выделяется из растения и культивируется в специальной среде, после чего можно непосредственно переходить к исследованию. Для изучения люминесценции такого типа ткани использовался лазерный источник возбуждения с длиной волны 405 нм. Наблюдение флуоресценции производилось через конфокальный микроскоп в диапазоне длин волн 411-754 нм с шагом в 11 нм. То есть был измерен спектр излучения при постоянной длине волны возбуждения.

Однако лазерное возбуждение флуоресценции допустимо использовать и для других тканей растений. Применимость этого метода зависит от длины

волны возбуждения флуоресценции в тканях. На данный момент различными учеными получены экспериментальные данные в широком спектре длин волн возбуждения, но наиболее часто встречаются в литературе возбуждения азотным лазером (337 нм), второй и третьей гармониками лазера на иттрий-алюминиевом гранате, активированном ионами неодима (532 и 355 нм соответственно). И самым удобным является возбуждение излучением с длиной волны 532 нм, так как такой лазер достаточно прост в производстве и эксплуатации. Излучением лазера воздействуют непосредственно на поверхность зеленого листа растения. Применение этого метода для изучения растений в стрессовом состоянии изучено мало и считается перспективным, так как в стрессовом состоянии интенсивность излучаемого растением спектра заметно изменяется, а в некоторых случаях наблюдается изменение и формы спектра, например, при нехватке воды [12].

Также для оценки состояния растения по фотохимической активности его фотосинтетической системы ФС2 применяют такие методы, как методы замедленной и «переменной» флуоресценции.

В методе замедленной флуоресценции источником этой замедленной флуоресценции является обратная рекомбинация первичных зарядов в реакционном центре ФС2, при которой квант света испускается антенным хлорофиллом, но с некоторой замедлением за счёт времени жизни пары зарядов, которые рекомбинировали. Такое свечение может наблюдаться в течение нескольких минут после прекращения воздействия.

Этот метод может применяться непосредственно на интактных (неповрежденных, необработанных) объектах. Однако этот метод довольно сложно интерпретировать.

Пример установки для измерения замедленной флуоресценции приведен на рис. 1 ниже.

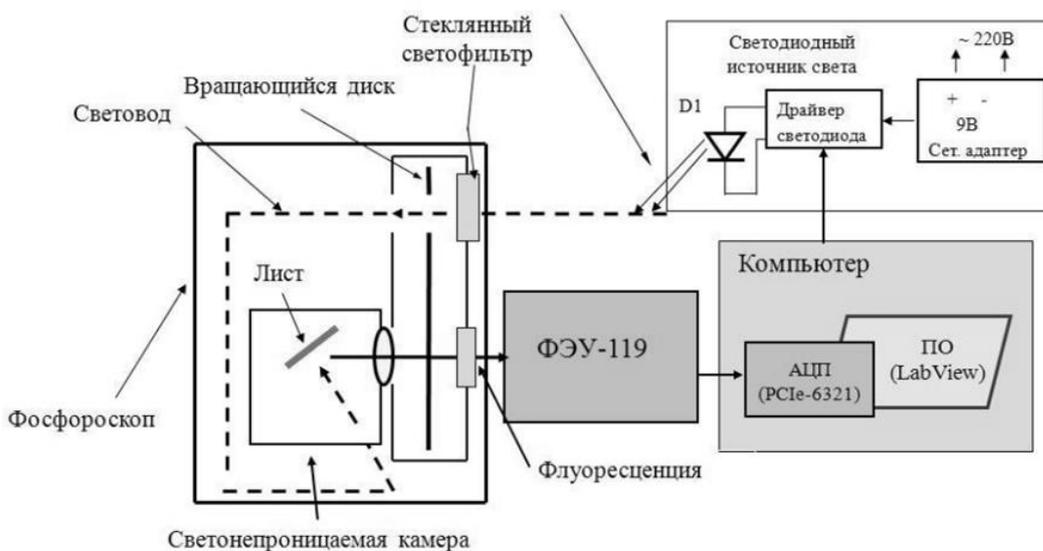


Рисунок 1.5.1. Установка на основе фосфороскопа для измерения миллисекундной ЗФл. АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ПО – программное обеспечение.

Измерение замедленной флуоресценции происходит в данной установке между импульсами света высокой интенсивности, облучающего образец. Длина волны возбуждения здесь 635 нм. Послесвечение регистрируется ФЭУ-119 и после обработки специальной компьютерной программой строится индукционная кривая замедленной флуоресценции и определяются её параметры.

Для изучения методом переменной флуоресценции существует два подхода. Первый подход изучает кривые индукционные кривые быстрой люминесценции. Известно, что освещение зелёного листа после периода темновой адаптации ведёт к немонотонному изменению интенсивности флуоресценции хлорофилла. Это изменение получило название индукция флуоресценции. Индукционные изменения флуоресценции связаны с изменением состояния первичного акцептора электронов ФС2 (Q_A) (см. п. 1.3.2).

На основе индукционных кривых могут быть определены различные флуоресцентные параметры, такие как максимальный и минимальный уровни флуоресценции. Из этих параметров рассчитывают максимальный квантовый выход фотохимии ФС2, который отражает эффективность использования поглощенной энергии. В стрессовом состоянии этот показатель снижается.

Огромным толчком к развитию спектрально-кинетического люминесцентного анализа послужило изобретение методики импульсно-амплитудной модуляции, на основе которой работают ПАМ-флуориметры (Pulse-Amplitude-Modulation — PAM). Данный метод позволяет определить относительный выход флуоресценции (F_t) путём модуляции амплитуды измеряющего светового пучка в микросекундном диапазоне импульсов с параллельным обнаружением возбуждаемой флуоресценции в присутствии рассеянного света. Это означает, что флуоресценция хлорофилла может быть измерена в полевых условиях, под прямыми лучами солнца, и не требует затемнения. Первый ПАМ-флуориметр PAM-101 был изготовлен компанией Walz, Германия.

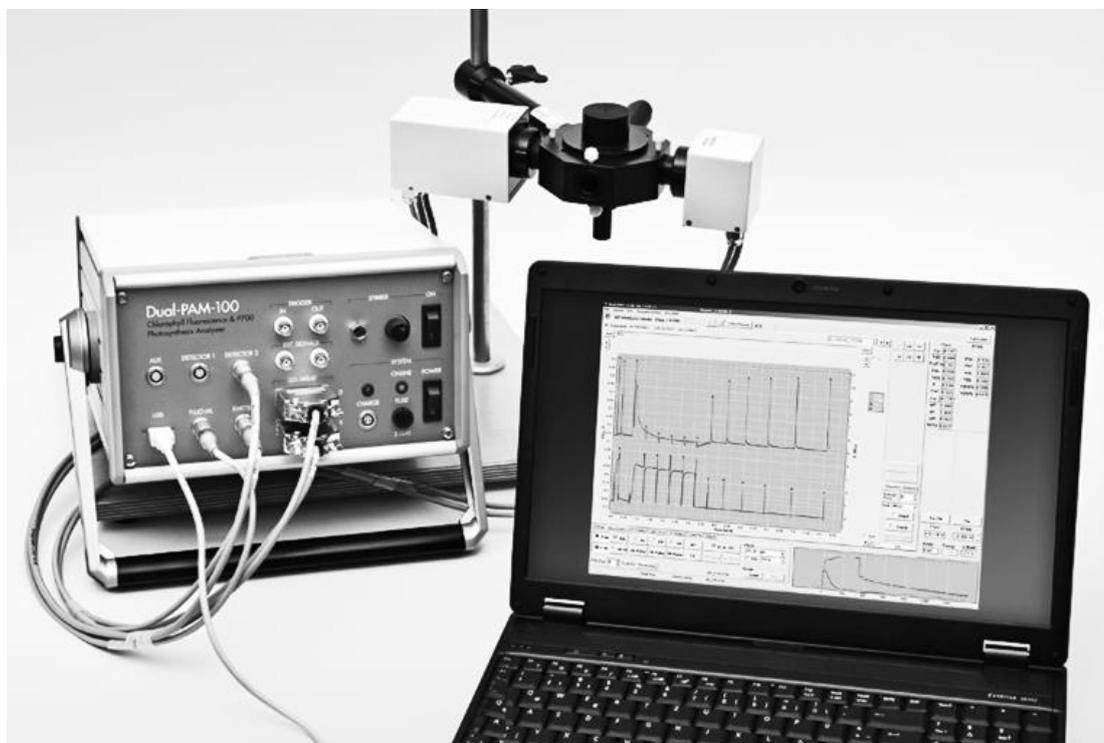


Рисунок 1.5.2 ПАМ-флуориметр DUAL-PAM-100, Walz, Германия.

Современные ПАМ-флуориметры позволяют получить не только спектры люминесценции растений, но и кинетики флуоресценции. При этом прибор может сразу рассчитать и выдать все необходимые для анализа состояния растения параметры (F_o , F_m , F_o' , F_m' , F_v/F_m , Y , F_t , F_{oq}) и коэффициенты фотохимического и нефотохимического тушения (qP , Y и NPQ).

Основное достоинство данной методики — это время, которого требует измерение, проводимое при помощи ПАМ-флуориметров. Дело в том, что при измерении по этому методу образец не требует никакой подготовки, измерять можно прямо с куста. Также прибор сам рассчитывает и выводит на дисплей все необходимые параметры, что значительно сокращает время обработки результатов. Также большинство ПАМ-флуориметров являются компактными и портативными, что позволяет проводить измерения в любом месте и в любое время. Для данной работы главным недостатком этих приборов стала их дороговизна.

2. Объект и методы исследования

В данной работе проводится объектом исследования является флуоресценция хлорофилла растений и ее зависимость от параметров окружающей среды и условий роста растения.

Методом исследования в данной работе является критический анализ уже существующих методов получения спектрально-кинетических характеристик флуоресценции хлорофилла, существующих на данный момент приборов, способных получать такие характеристики, методов приема и фильтрации сигнала в оптико-электронных приборах для измерения спектров и кинетик люминесценции.

3. Экспериментальная часть

Экспериментальная часть исследования заключается в разработке методики измерения спектров и кинетик люминесценции растений и обработки и фильтрации полученных сигналов. Предполагается, что эта методика ляжет в основе исследовательского стенда, который может быть создан из уже имеющегося на кафедре оборудования.

3.1. Анализ параметров люминесценции растений для оценки их состояния

В настоящее время с помощью люминесцентных методов активно изучаются процессы, происходящие в фотосинтетическом аппарате растений, в том числе механизмы, вызывающие стрессовые состояния. Флуоресценция широко используется как показатель фотосинтетического преобразования энергии у высших растений, водорослей, бактерий. Показано, что закономерности кинетики люминесценции хлорофилла в листьях растений связаны с наличием сложной электронной транспортной цепи, которая обеспечивает гибкую адаптацию к изменяющимся условиям освещенности. Регуляторные реакции работают по принципу обратной связи. Отрицательная обратная связь проявляется в регуляторных реакциях световых стадий фотосинтеза (распределение световой энергии между двумя фотосистемами, нефотохимическое тушение возбужденных состояний и др.). Установлены механизмы регуляции потока электронов на разных участках регуляции.

Закономерности люминесценции растений описаны в обзоре. Кинетика люминесценции в зависимости от длительности и интенсивности падающего излучения носит сложный характер, который определяется сложными процессами транспорта электронных возбуждений (электронов) в фотосинтетическом аппарате растения.

На рис. 3.1.1 отображены кинетики флуоресценции хлорофилла при возбуждении люминесценции актиничным (снизу) и не актиничным (сверху) светом [13].

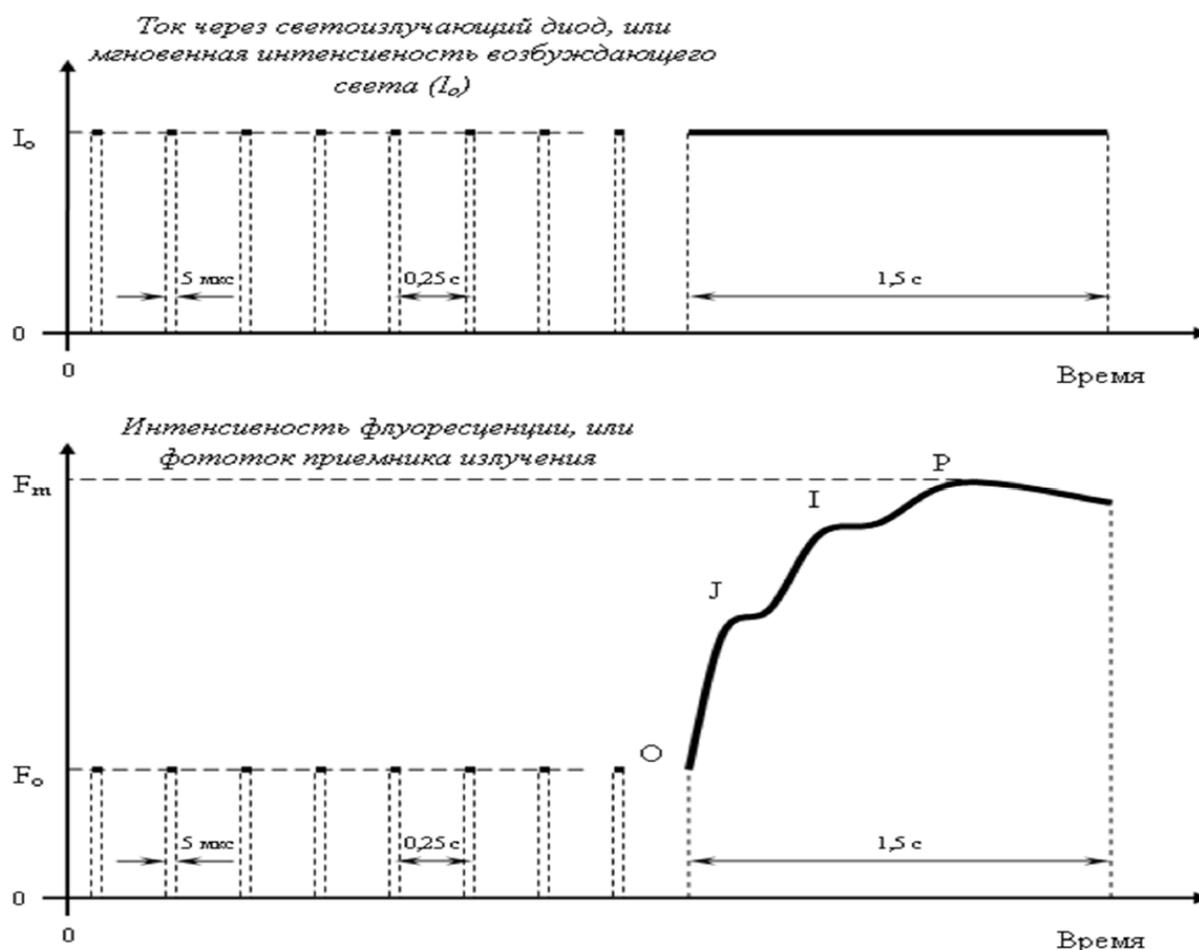


Рисунок 3.1.1. Кинетики флуоресценции хлорофилла при возбуждении люминесценции актиничным (снизу) и не актиничным (сверху) светом

По результатам измерений с постоянной подсветкой и без нее определяют параметры флуоресценции:

– F_0 — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла в ответ на импульсы возбуждающего света длительностью 1-5 мкс, не приводящие к закрытию реакционных центров (РЦ), то есть не приводящим к изменению состояния фотосинтетического аппарата, в отсутствие постоянной фоновой подсветки и после адаптации объекта в темноте (все реакционные центры открыты). Абсолютное значение F_0 есть показатель общей массы растительности.

– F_m — значение максимального уровня интенсивности флуоресценции хлорофилла после адаптации объекта в темноте в ответ на мощный импульс возбуждающего света длительностью 200-1000 мс, приводящим к полному закрытию РЦ и достижению стационарного уровня люминесценции.

– F_t — значение интенсивности флуоресценции хлорофилла при длительной постоянной фоновой подсветке в ответ на импульсы длительностью 1 – 5 мкс,

– F_s — стационарный уровень флуоресценции;

– F'_m – значение максимального уровня интенсивности флуоресценции хлорофилла в ответ на импульс возбуждающего света длительностью 200 – 1000 мс, приводящим к полному закрытию РЦ фотосинтетического аппарата, при постоянной фоновой подсветке.

– F'_0 — Минимальная флуоресценция (в относительных единицах) в условиях адаптации к свету. Уровень флуоресценции облучаемого образца, который снижен по сравнению с F_0 из-за наличия нефотохимического тушения.

Как правило, результаты исследований интерпретируют при анализе кинетических кривых на основе измеренных значений фоновой флуоресценция (F_0), максимальной флуоресценция (F_m и F'_m) и стационарной флуоресценция (F_t). На основе этих параметров вычисляют различные коэффициенты, характеризующие состояния растений:

$\frac{F_V}{F_m} = \frac{F_m - F_0}{F_m}$ — максимальный квантовый выход разделения зарядов в ФС2;

$Rfd = \frac{F_m - F_s}{F_s}$ — коэффициент спада флуоресценции, также называемый,

индексом жизнеспособности растения, характеризует квантовую эффективность фотосинтеза.

$qP = \frac{F'_m - F_t}{F'_m - F'_0}$ — характеризует фотохимическое тушение на фоновом

свету;

$NPQ = \frac{F_m}{F'_m} - 1$ — характеризует нефотохимическое тушение;

$Y = \frac{F'_m - F_t}{F'_m}$ — характеризует квантовый выход фотохимического превращения поглощенной световой энергии, отражающей параметры нециклического транспорта электронов при фотосинтезе.

Скорость переноса электронов от Q_a к Q_b , относительный размер светособирающего антенного комплекса и относительная величина пула хинонов можно вычислить по кинетике роста интенсивности флуоресценции хлорофилла от F_0 к F_m .

Существует другие индексы, вычисляемых на основе измеренных параметров флуоресценции, в том числе индексы адаптации к стрессу Am_s и Am_0 . Эти индексы определяются по следующим формулам:

$$Am_s = \frac{F_m \lambda_1 / F_m \lambda_2}{F_s \lambda_1 / F_s \lambda_2},$$

$$Am_0 = \frac{F_m \lambda_1 / F_m \lambda_2}{F_0 \lambda_1 / F_0 \lambda_2},$$

Также индекс адаптации растения к стрессу может быть рассчитан через Rfd :

$$Ap = 1 - \frac{1 + Rfd_{\lambda_1}}{1 + Rfd_{\lambda_2}}.$$

Таким образом, для анализа процессов фотосинтеза, в том числе определения скорости фотосинтеза, требуется научиться определять F_0 , F_m , F_t , F_s , F'_m , F'_0 . Особенность заключается в том, что измерения необходимо проводить в условиях выращивания растений в фитотронах, не нарушая саму технологию выращивания.

3.2. Выбор и описание прототипа.

В качестве прототипа может быть выбран флуориметр компании Walz IMAGING-PAM (рис. 3.2.1). Приборы этой серии работают на основе контрольного модуля IMAG-CG. Рассмотрим технические характеристики флуориметра прибора (табл. 3.2.1).

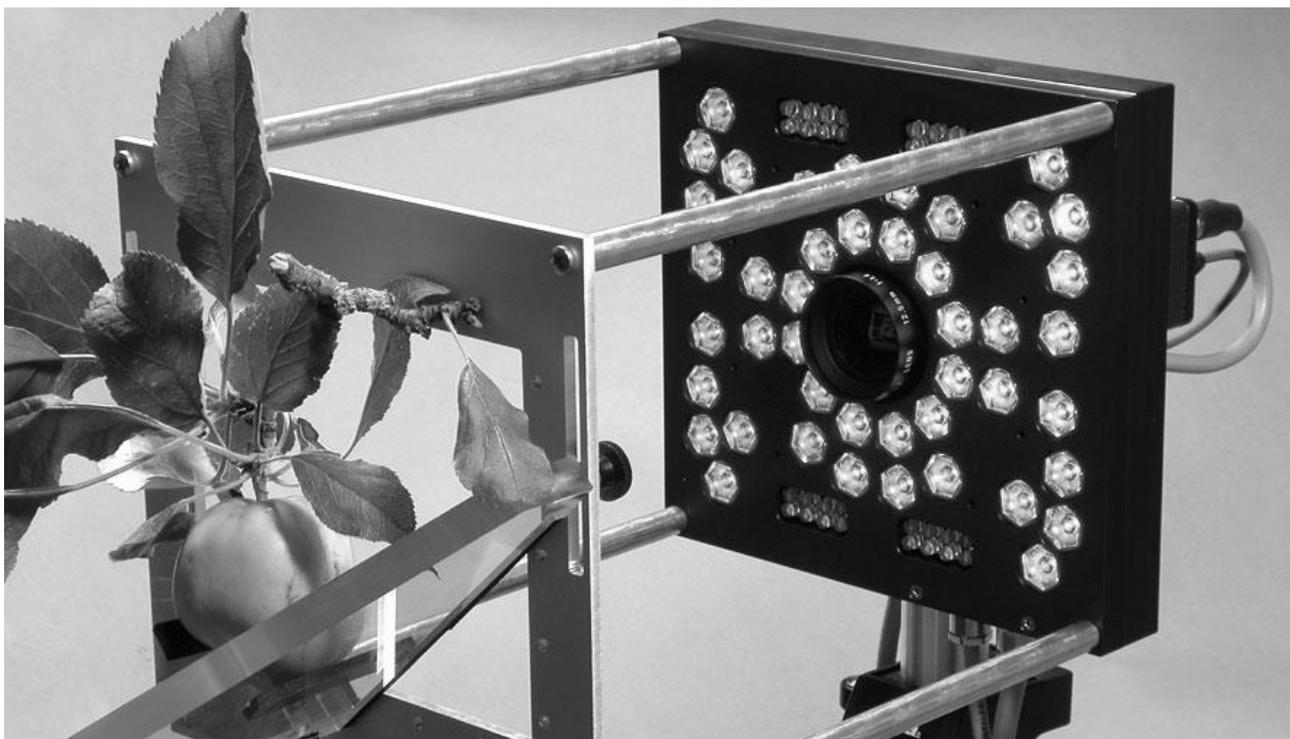


Рисунок 3.2.1. Флуориметр IMAGING-PAM MAXI-версия
в процессе измерения

Таблица 3.2.1. Технические характеристики флуориметра
IMAGING-PAM компании Walz

Возбуждающий источник, длина волны	синий, 460 нм
Максимальная интенсивность актиничного света	2000 $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$
Максимальная интенсивность насыщающих световых импульсов	6000 $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$
Приемник излучения	сменный

В общем случае приборы серии IMAGING-PAM состоят из трех модулей:

- Измерительный модуль
- Контрольный модуль
- Приемный модуль (ПЗС камеры)

Измерительный модуль, в свою очередь включает в себя: излучающий светодиодный модуль, состоящий из 12 светодиодов синего цвета (для измерения люминесценции хлорофилла) с длиной волны $\lambda = 460$ нм; передающую оптическую систему, обеспечивающую, в том числе, фильтрацию сигнала, и оптоволоконный кабель для подключения к ПЗС камере.

Не смотря на большое разнообразие подключаемых модулей (3 варианта измерительной части и множество вариантов ПЗС камер) данный прибор имеет ограничения по применению. В частности, он не годится для основной задачи данной работы — для контроля состояния растения в фитотроне, так как габариты измерительных модулей слишком велики и требуют непосредственного контакта с образцом.

Поскольку этот прибор не обладает полным набором требуемых возможностей и достаточно дорог, то задача состоит в том, чтобы создать достаточно многофункциональный стенд, из имеющегося оборудования.

3.3. Методы приема и фильтрации сигнала.

Особенности измерения спектров отражения растений в фитотроне заключаются в том, что эти измерения должны проводиться без выключения облучателей, более того, в условиях изменения интенсивности и спектрального состава падающего излучения. Поэтому основная задача состоит в применении эффективной системы фильтрации полезного сигнала. В нашем случае можно использовать следующие способы фильтрации:

- спектральная, с помощью фильтров
- синхронное детектирование

- импульсно-амплитудная модуляция (РАМ))

Спектральная фильтрация

Наиболее подходящими для нашего случая являются такие методы фильтрации, как спектральная и импульсно-амплитудная модуляция.

На рис 3.3.1, 3.3.2 и 3.3.3 показаны, измеренные на спектрофлуориметре Cary Eclipse, спектры люминесценции и спектры возбуждения люминесценции мандарина. Спектры и возбуждения и спектры люминесценции перекрываются в области 670 – 700 нм.

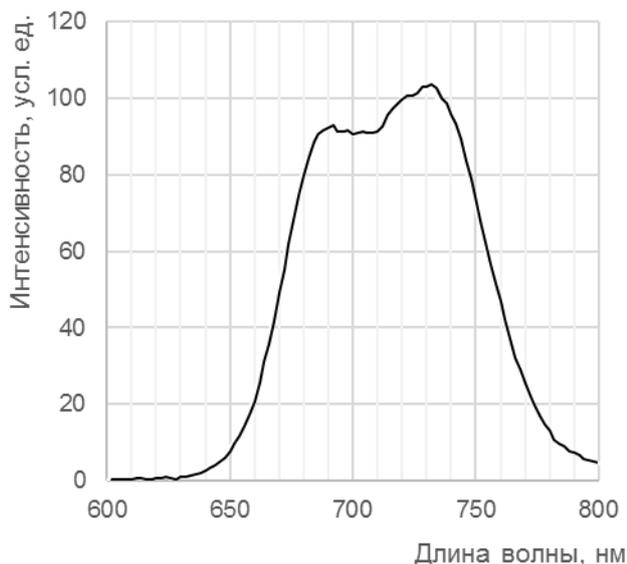


Рисунок 3.3.1. Спектр люминесценции мандарина при возбуждении светом с $\lambda = 450\text{нм}$ (возбуждение — щель 10 нм, эмиссия — щель 20 нм)

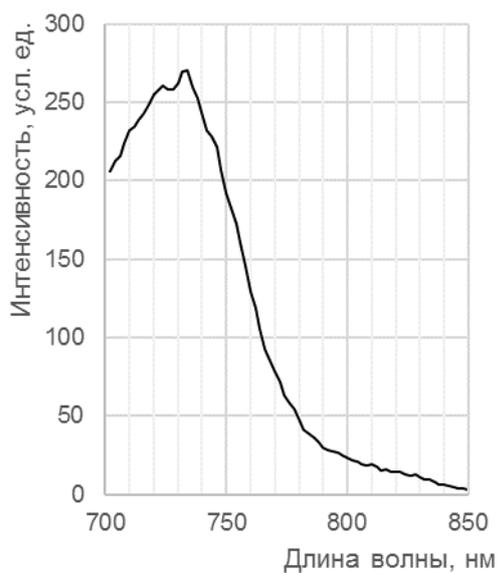


Рисунок 3.3.2. Спектр люминесценции мандарина при возбуждении светом с $\lambda = 650$ нм (возбуждение — щель 10 нм, эмиссия — щель 20 нм)

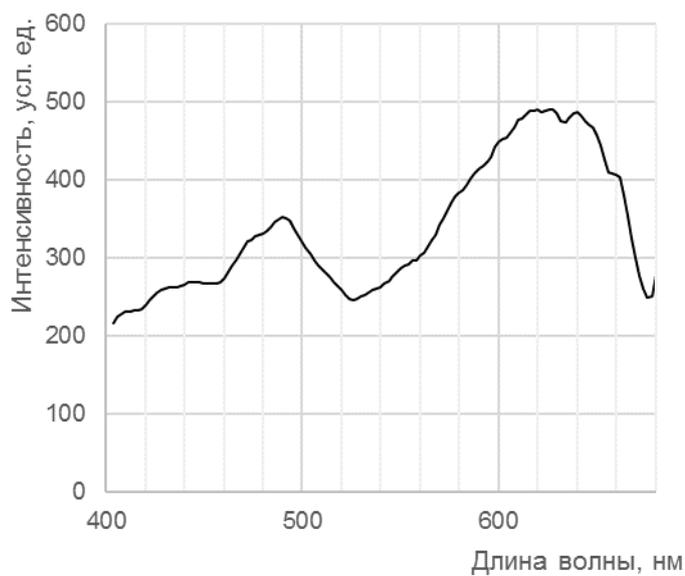


Рис 3.3.3. Спектр возбуждения люминесценции мандарина при регистрации излучения на длине волны $\lambda = 650$ нм

На рис. 3.3.4 показан спектр излучения светодиодного облучателя в фитотроне.

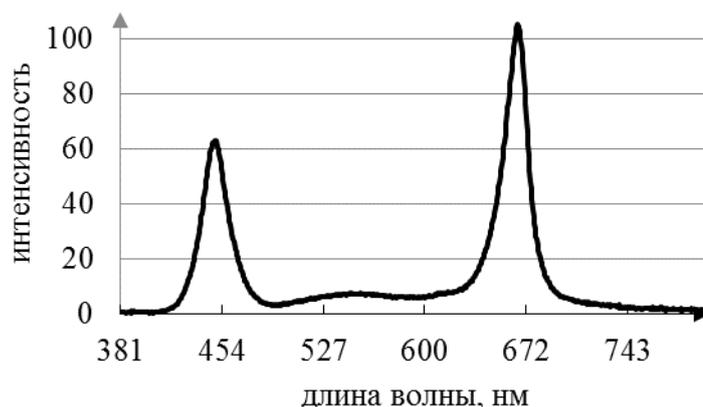


Рис 3.3.4. Спектр излучения композиции из белого, синего и красного светодиодов

Из сравнения спектров люминесценции и спектра облучателя следует, что для эффективной спектральной фильтрации необходимо использовать светофильтр, который начинает пропускать излучение люминесценции в области длин волн более 700 нм. Поэтому для эффективной спектральной фильтрации можно использовать светофильтр КС19 [14], который используется только в измерительном тракте. В этом случае измерения производятся в присутствии активного излучения, но для регистрации будет использоваться только полоса люминесценции с максимумом в области 735 нм.

Если использовать для возбуждения люминесценции область $400 \div 500$ нм и измерения производить в темноте, то тогда можно использовать всю область излучения молекул хлорофилла, а эффективность спектральной фильтрации будет очень высокой. Для реализации фильтрации при такой схеме измерения можно использовать систему скрещенных светофильтров, состоящих из фильтра СЗС22 в тракте возбуждения и фильтра ОС12 в измерительном тракте. Эти две схемы измерения люминесценции могут быть использованы для определения различных видов коэффициентов (индексов), описанных выше.

Метод приема

В качестве основного целесообразно использовать метод — импульсно-амплитудная модуляция (РАМ). Путём модуляции амплитуды возбуждающего светового пучка и синхронного измерения возбуждаемой флуоресценции, можно работать всего на одной частоте — частоте модулированного возбуждающего потока излучения. Поскольку помехи и фоны имеют иной частотный спектр, то такой метод позволяет эффективно отфильтровывать эти сигналы в электронном тракте измерительной системы и, например, определять относительный выход флуоресценции (F_1) в присутствии рассеянного света.

3.4. Разработка схемы измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции листьев и плодов растений в фитотроне на основе имеющегося оборудования.

В первую очередь рассмотрим, каким требованиям должна удовлетворять исследовательская установка для измерения спектров и кинетик люминесценции:

1. Стенд должен позволять измерять спектры люминесценции в спектральном диапазоне 600-900 нм, т. к. максимумы люминесценции хлорофилла расположены в этом диапазоне. За его пределами свечение не наблюдается.
2. Стенд должен позволять измерять кинетику люминесценции с временным разрешением $\ll 5$ мкс, для обеспечения разрешения во времени возбуждающего импульса предельной длительности.
3. Стенд должен иметь набор импульсных и стационарных источников возбуждения в диапазоне длин волн 300-500 нм, т. к. в этом диапазоне лежат максимумы поглощения хлорофилла.

Следовательно, компоненты схемы также должны удовлетворять этим условиям.

Так как предполагается, что итоговая исследовательская установка будет применяться в фитотроне, т. е. должна быть компактной. По этой причине удобно использовать оптоволоконные спектрометры.

В частности, таким спектрометром, имеющимся на кафедре, является прибор Ava Spec фирмы Avantes. Также данная система позволяет применить выбранные ранее методы фильтрации.

Для измерения люминесценции растения в фитотроне есть два варианта:

- Измерение спектров люминесценции от куста
- Измерение спектров люминесценции отдельного листа

Рассмотрим их отдельно.

3.4.1. Измерение спектров люминесценции от куста.

Особенностями измерения люминесценции от куста является неоднородность потока излучения от растения, и большая, чем в случае с листом облучаемая площадь, так как в этом случае мы измеряем интегральный поток от всех листьев куста. Исходя из этого, для проведения измерений спектров люминесценции от куста выбрано следующее оборудование:

Излучатели для возбуждения люминесценции:

Светодиодные источники. синего цвета, а именно с длиной волны 450 нм. Однако, светодиодов с максимумом излучения на этой длине волны не найдено и логично выбрать источник с близкой длиной волны. Также, из-за потерь интенсивности света в волокне, принято решение об использовании сверхъярких светодиодов. Этим требованиям удовлетворяют светодиоды фирмы Paralight. Их параметры приведены в табл. 3.4.1 ниже:

Таблица 3.4.1. Параметры сверхъярких светодиодов

Наименование светодиода	Прямое напряжение, VF (В) при $I_F = 150\text{mA}$, тип.	Интенсивность I_V , мКд	Полный поток, Фв (150mA), лм	Диаметр, мм	Угол обзора, градусы	Длина волны, нм	$\Delta\lambda_{1/2}$, нм
EP2012-150B1	3.4	20 000	1.5	10	10	470	20
EP2032-150B1		12 000	1.5	5	10	470	20
EP2034-150B1		7 500	1.5	5	20	470	20
EP2036-150B1		6 000	1.5	5	30	470	20
EP204K-150B1		3 000	1.5	11	100	470	20

Также в качестве источника возбуждения люминесценции может использоваться импульсная ксеноновая лампа Ava Light-XE Pulsed Xenon. Важным достоинством этой лампы является простота ее синхронизации со спектрометром Ava Spec, в паре с которым возможно проводить измерение спектров люминесценции растений. Основные характеристики лампы Ava Light-XE приведены в табл. 3.4.2.

Таблица 3.4.2. Параметры импульсной ксеноновой лампы Ava Light-XE Pulsed Xenon

Длины волн излучения	200 — 1000 нм
Спектр излучения	
Длительность импульса	5 мкс
Максимальная частота импульсов	100 Гц

Кроме того, для измерения некоторых параметров, в качестве источника возбуждения могут выступать облучатель, уже установленные в фитотроне.

Источники фонового облучения растений:

В качестве источников фонового излучения однозначно будут выступать уже установленные в фитотроне светодиодные облучатели, так как ни спектр, ни мощность фонового излучения не играет существенной роли.

Приемник излучения:

Для измерения спектров люминесценции, из имеющегося на кафедре оборудования, наибольшим образом подходит оптоволоконный спектрометр Ava Spec фирмы Avantes (рис. 3.4.1). Данный спектрометр построен по схеме Черни-Тернера. Основные характеристики спектрометра приведены в табл. 3.4.3 ниже.



Рисунок 3.4.1. Высокочувствительный оптоволоконный спектрометр Ava Spec фирмы Avantes

Таблица 3.4.3. Характеристики оптоволоконного спектрометра Ava Spec

Число измерительных каналов	1
Устройство отображения и обработки информации	Персональный компьютер
Фокусное расстояние, мм	75
Дифракционная решетка (штрих/мм)	300
Диапазон длин волн, нм	195 – 1150
Макс. эффективность светопередачи, нм	300
Ширина щели, мкм	100
Спектральное разрешение, нм	4,3
Оптические фильтры	OSC-UA 350 и 590 нм;
Оптический детектор	ПЗС-матрица Sony 2048 CCD

Также стоит отметить, что для измерения с куста необходимо выбрать спектрометр с более широкой входной щелью, чем для измерений с куста. Это связано с тем, что при измерении с куста меньшая доля излучения растения достигает приемника.

Схема измерения:

Основываясь на всем вышесказанном, можно составить схему измерения спектров люминесценции с куста. Такая схема будет состоять из двух частей — облучателя и приемной части.

Облучатель (рис. 3.4.2): источник (1) – фильтр (2) – линза (3) – затвор (4) – оптоволоконно (5) – линза (3) – объект (6)

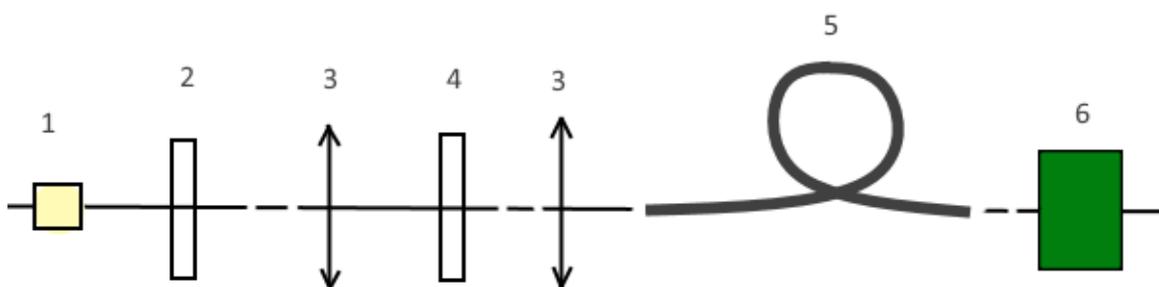


Рисунок 3.4.2. Схема облучателя установки для измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции

Приемная оптическая система (рис. 3.5.3): линза (3) – оптоволоконно (5) – фильтр (2) – приемник (7).

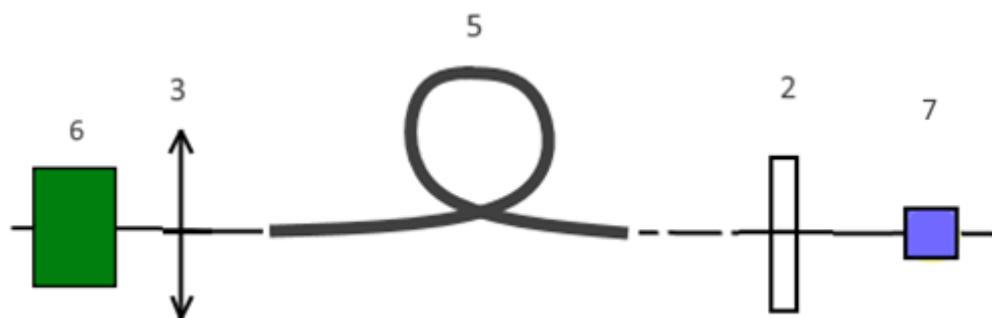


Рисунок 3.4.3. Схема приемной оптической системы установки для измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции

3.4.2. Измерение спектров люминесценции от листа

В случае измерения спектров от листа, принципиальная схема установки измениться не качественно, а количественно. Т. е. для измерения от листа нужны менее мощные источники и ниже требования к чувствительности приемника, так как при измерении от листа источник и приемник, в данном случае оптические волокна, располагаются в непосредственной близости от листа.

Из упомянутых в пункте 3.4.1. источников излучения в данном методе можно использовать импульсные ксеноновые лампы. Сверхъяркие светодиоды использовать нельзя, так как они могут оказывать разрушающее действие на ткани растения.

Источником фонового излучения снова являются светодиодные облучатели фитотрона, т. к. разрушающего воздействия на растение они оказывать не могут.

В качестве приемника также можно использовать оптоволоконный спектрометр Ava Spec с щелью меньшей, чем для измерений с куста. Также для измерения флуоресценции растений от листа у фирмы Avantes разработан специальный оптоволоконный модуль, служащий для подвода возбуждающего излучения к образцу и передачи свечения образца на приемный спектрометр. Это приспособление Industrial Fluorescence Probe (рис. 3.4.4).

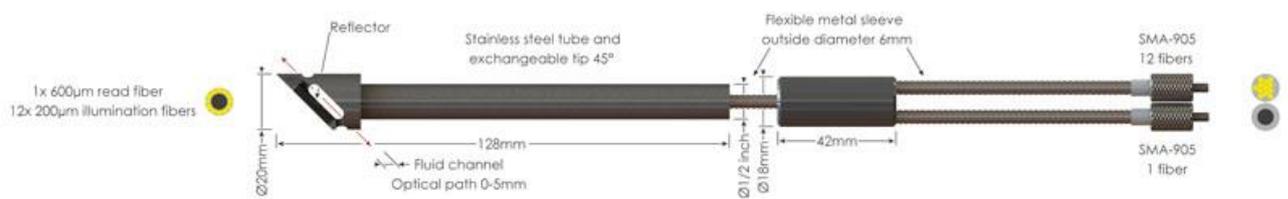


Рисунок 3.4.4. Оптоволоконная насадка Industrial Fluorescence Probe для измерения флуоресценции при помощи спектрометра фирмы Avantes

Так как компоненты в данном методе измерения изменяются только количественно, принципиальная схема измерения для обоих методов одинаковая (рис. 3.4.3). Здесь компоненты 3, 5 и 2 приемной оптической системы могут быть представлены в составе оптоволоконной насадки Industrial Fluorescence Probe, в отличии от схемы измерений с куста.

3.5. Методики измерений

Для разработки методики измерений, необходимо разобраться, как правильно измерять параметры кинетики люминесценции хлорофилла. Известно, что при открытом состоянии РЦ эффективность использования энергии возбуждения хлорофилла в фотосинтезе высока, вероятность потери энергии минимальна, квантовый выход флуоресценции $\eta = \frac{k_f}{k_f + k_d + k_p}$ минимален и составляет около 2%. При закрытых РЦ фотохимическое разделение зарядов становится невозможным, квантовый выход флуоресценции возрастает до $\frac{k_f}{k_f + k_d}$, что соответствует значению интенсивности F_m , и составляет около 5%. [1]

Разберем методы определения каждого из параметров:

1. Определение F_0 реализуется путем измерения люминесценции растений при возбуждении короткими маломощными импульсами длительностью 1 – 5 мкс в отсутствии фоновой засветки. Схема измерений такая же, как для определения F_t . Однако фоновой засветки нет, то есть облучатели выключены и

растение находилось в темноте не менее минуты. Можно это делать ночью, перед рассветом, после выключения светодиодных облучателей.

2. Определение F_t , то есть значение интенсивности флуоресценции хлорофилла при длительной фоновой постоянной подсветке, реализуется путем измерения люминесценции в процессе выращивания. В качестве фоновой засветки выступает уровень облученности от светодиодного облучателя. Возбуждение должно производиться микросекундными импульсами в области спектра 400 – 700 нм. В качестве источника возбуждения можно использовать импульсную ксеноновую лампу или светодиоды, работающие в импульсном режиме.

3. Определение F_m может быть реализовано включением светодиодного облучателя в фитотроне на время 200 – 1000 мс. Необходимые требования к фронтам такого импульса видны из рис. 3.1.1. При исследованиях можно также использовать постоянную ксеноновую лампу импульс в 200 – 1000 мс которой обеспечивается затвором (от фотокамеры). Использование стационарного ксенонового источника света позволяет возбуждать не все растения, а только отдельный лист. Можно использовать также мощный внешний светодиодный источник с длительностью импульса 200 – 1000 мс, который будет удобен для работы в составе системы мониторинга в теплице.

4. Определение F'_m реализуется по схеме использования внешнего источника (ксеноновая лампа или светодиоды) с длительностью импульса 200-1000 мс. В качестве фонового источника можно использовать поток от основного светодиодного облучателя.

3.6. Анализ режимов измерения спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений

Для отработки режимов облучения и оценки возможностей метода импульсно-амплитудной модуляции был использован спектрофлуориметр Saqu Eclipse. Ясно, что этот прибор в настоящем виде не может быть использован для наших целей, так как размеры образца ограничены габаритами измерительной

камеры, но может быть использован для отработки режимов измерения параметров флуоресценции растений.

Данный спектрофлуориметр обладает двумя сверхбыстрыми сканирующими монохроматорами, построенный на основе импульсной ксеноновой лампы и оптики Шварцшильда. Прибор обеспечивает работу в режимах измерения флуоресценции, фосфоресценции, хеми- и биолюминесценции и дает возможность сбора 80 точек в секунду в режиме флуоресценции, что необходимо для изучения быстрых кинетических процессов. В этом приборе используется метод импульсно-амплитудной модуляции (РАМ). Отсутствие модуляции фонов позволяет эффективно отфильтровывать полезные сигналы в электронном тракте измерительной системы.



Рисунок 3.6.1. Спектрофлуориметр Agilent Cary Eclipse

Технические характеристики спектрофлуориметра CaryEclipse приведены в табл. 3.6.1.

Таблица 3.6.1. Технические характеристики спектрофлуориметра CaryEclipse.

Источник света	пульсирующая ксеноновая лампа
Длительность импульса	2 мкс
Оптика	Шварцшильда
Монохроматоры	Черни-Тернера, 0,125 м

Продолжение таблицы 3.6.1.

Дифракционные решетки	30 × 35 мм, 1200 линий/мм
Детекторы	два ФЭУ R298
Оптический диапазон	Возбуждение: 200 ÷ 900 нм , Эмиссия: 200 ÷ 900 нм
Спектральная ширина щели	1,5, 2,5, 5, 10 и 20 нм
Максимальная скорость сканирования	24000 нм/мин
Скорость сбора кинетических данных	4800 точек/мин
Время усреднения сигнала	Флуоресценция: 0,0125 ÷ 999 с, Фосфоресценция: 1 мкс ÷ 10с , Био/Хемилюминесценция: 40 мкс ÷ 10с

В ходе эксперимента были измерены спектры люминесценции следующих растений (рис. 3.6.2):

- Томат
- Базилик
- Салат



Рисунок 3.6.2. Исследуемые растения,
слева — томат, справа — базилик

Для этих растений были измерены спектры люминесценции двух сторон листьев при возбуждении светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм.

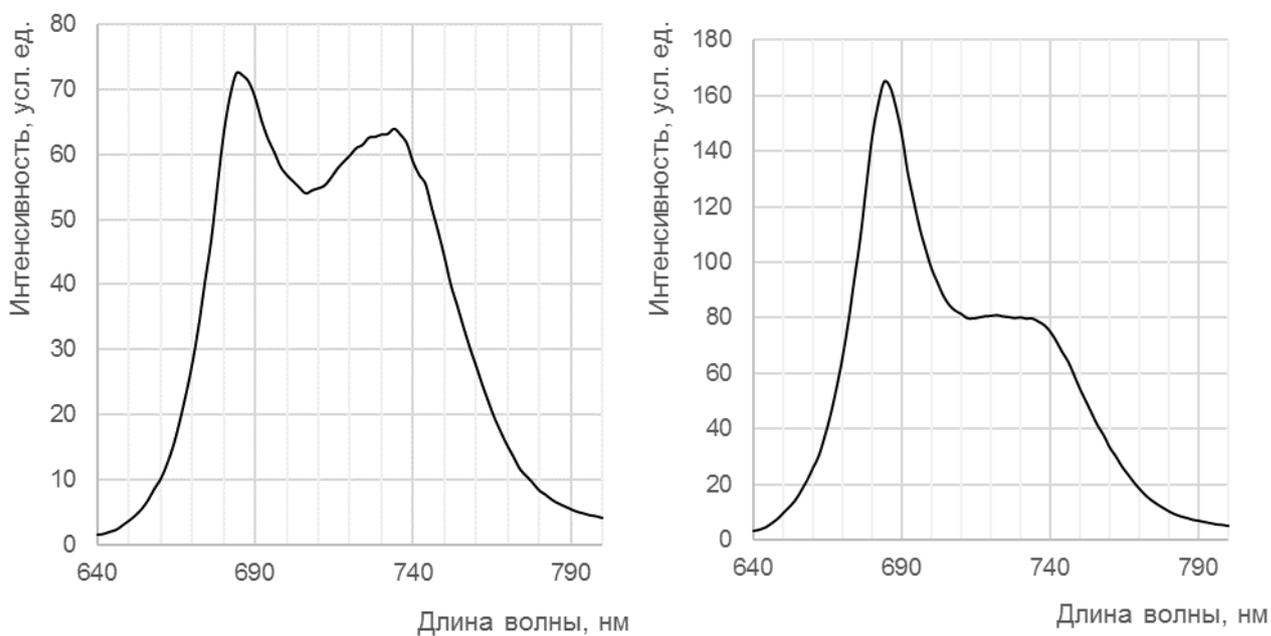


Рисунок 3.6.3. Спектры люминесценции верхней (слева) и нижней (справа) сторон листа томата

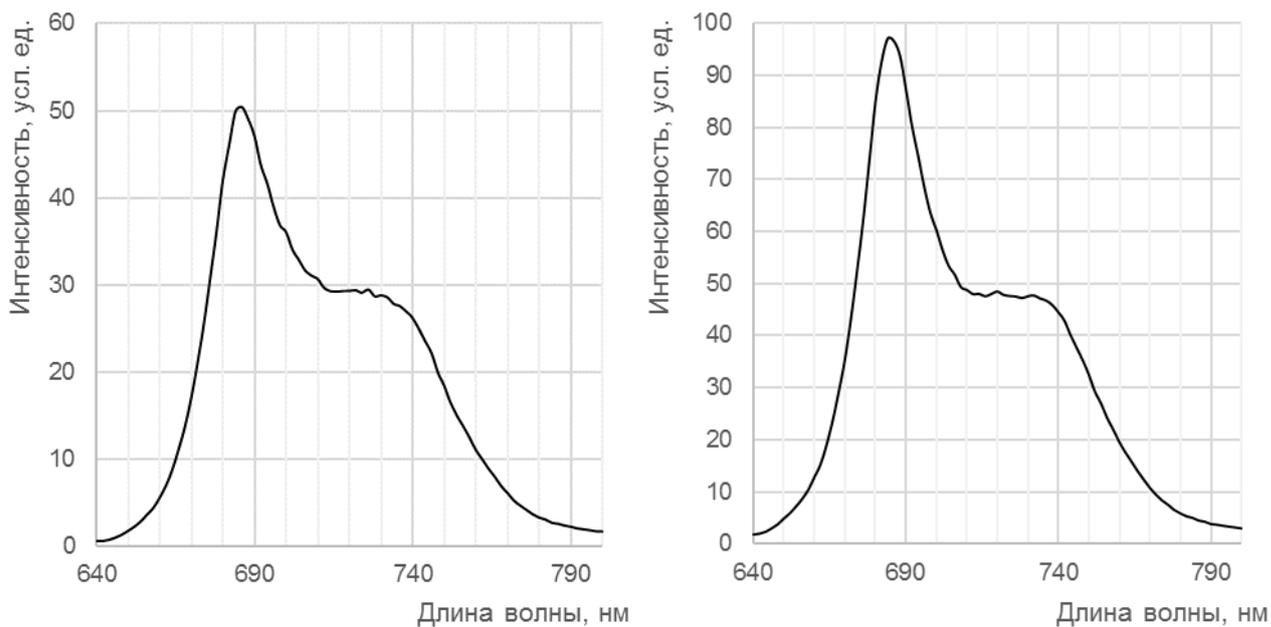


Рисунок 3.6.4. Спектры люминесценции верхней (слева) и нижней (справа) сторон листа базилика

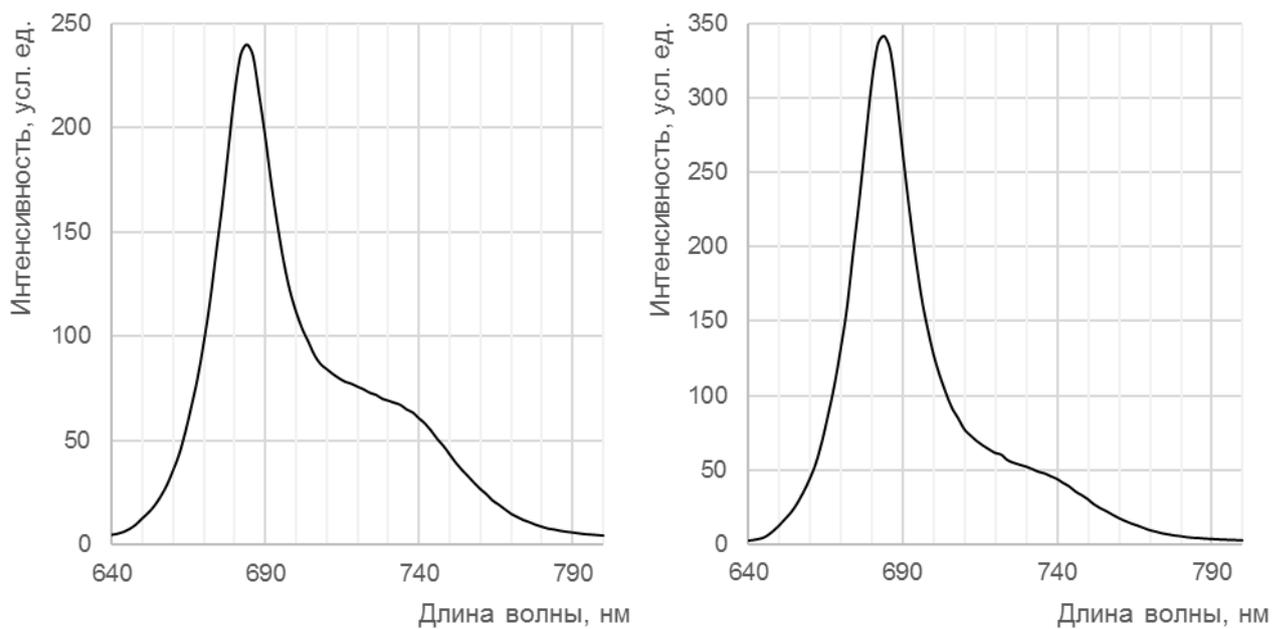


Рисунок 3.6.5. Спектры люминесценции верхней (слева) и нижней (справа) сторон листа салата

Для всех образцов видно, что у нижней стороны листа интенсивность люминесценции значительно выше, чем у верхней. Также видно, что соотношение «высот» максимумов люминесценции хлорофиллов *a* и *b* для всех растений различно, так для салата соотношение будет максимальным.

Так как у салата наблюдалась наибольшая интенсивность люминесценции, на его примере были исследованы возможности получения кинетики флуоресценции растения и ее параметров.

Сперва было проведено измерение параметра F_0 . Для создания подходящих условий, а именно получения коротких пиков малой интенсивности, было решено уменьшить щель монохроматора возбуждения. Опытным путем было установлено, что оптимальной является ширина щели 2,5 нм. При той же длине волны возбуждения была получена следующая кинетика:

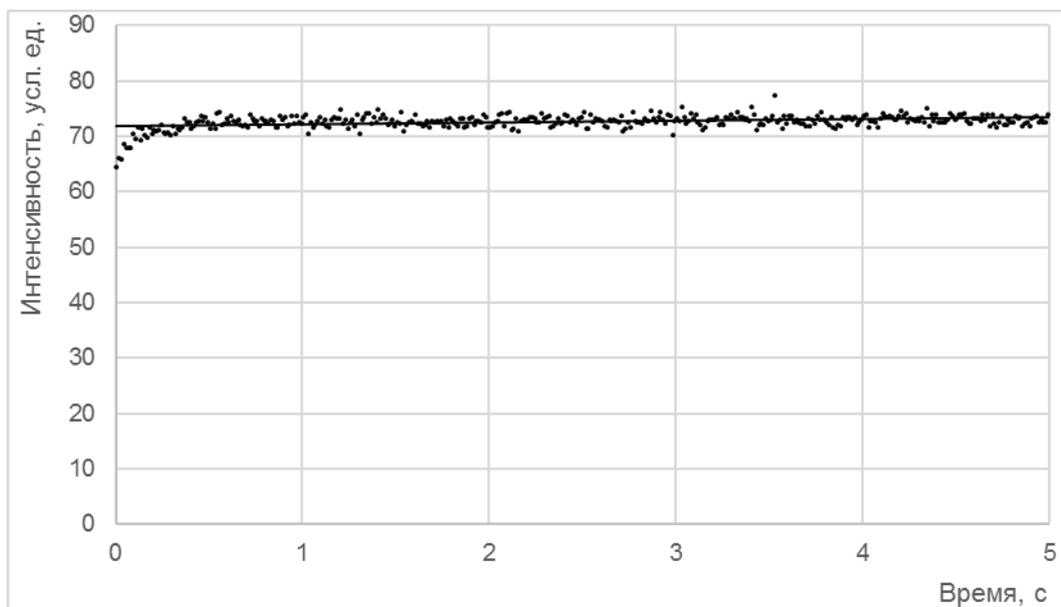


Рисунок 3.6.6. Кинетика люминесценции салата при возбуждении, не приводящем к закрытию РЦ

Из данного графика видно:

- 1) Кинетика представляет собой почти прямую линию, а не набор пиков. Это связано с тем, что разрешения прибора недостаточно для разделения пиков такой длительности.
- 2) Интенсивность люминесценции имеет постоянную величину практически на всей протяженности кинетики, следовательно, этот уровень можно считать равным F_0 для данного растения.

Далее были измерены индукционные кривые флуоресценции хлорофилла. Для этого растение предварительно выдерживалось в темноте в течение двух минут, затем облучалось светом с длиной волны $\lambda = 450$ нм. В качестве актиничного света был использован свет светодиодного фонарика. Для приведенного на рис. 3.6.7 измерения актиничная подсветка была включена в момент времени 8 секунд.

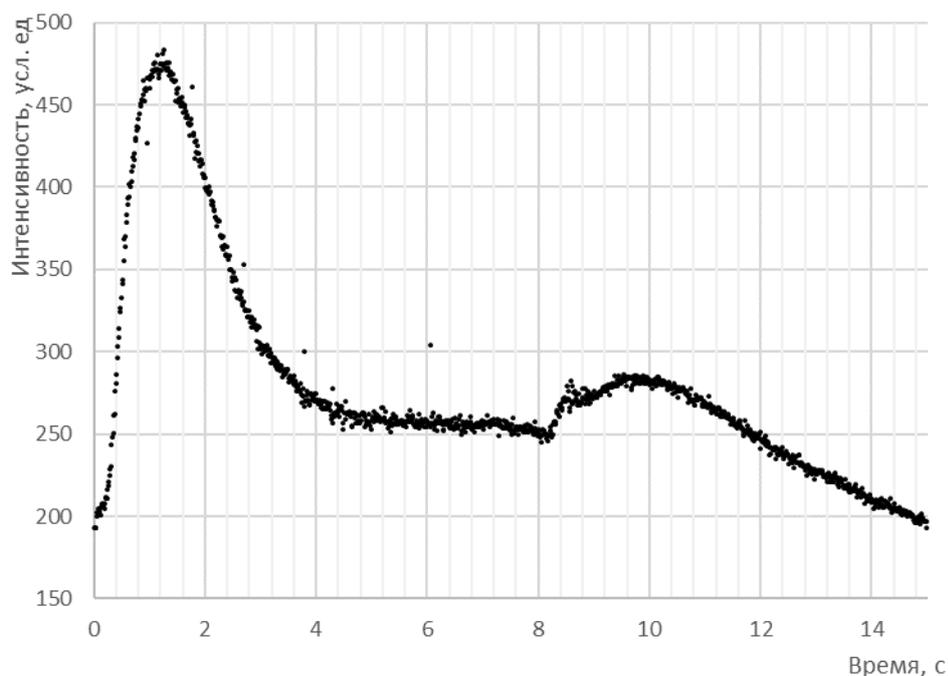


Рисунок 3.6.7. Кинетика люминесценции салата при возбуждении актиничным светом

По результатам измерений видно, что первые 4 секунды, при возбуждении светом высокой интенсивности с длиной волны $\lambda = 450$ нм, интенсивность флуоресценции хлорофилла сперва резко возрастает до максимального значения, затем резко падает. После 4 секунд изменение интенсивности незначительно и практически выходит на постоянный уровень.

При включении актиничного света в кинетике наблюдается ожидаемая характерная форма индукционной кривой. На рис. 3.3.8 отдельно вынесен фрагмент 8 ÷ 12 с для наблюдения этой формы. Так как полученный профиль совпал с ожидаемым, можно сделать вывод, что проведение измерений параметров люминесценции по данной методике возможно.

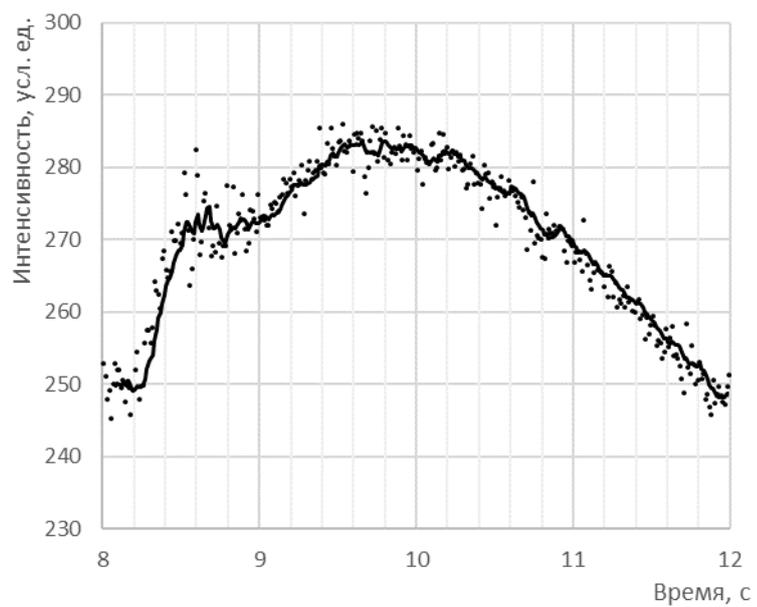


Рисунок 3.6.8. Фрагмент кинетики люминесценции салата при возбуждении актиничным светом

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Для рассматриваемого исследования целевым рынком является сельскохозяйственная отрасль в общем и растениеводческие хозяйства разных величин, в частности. Проведём сегментирование рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и тип посадок (теплица, открытые поля)

Таблица 4.1.1. Карта сегментирования рынка

Размер компании	Тип посадок		
	Открытые поля	Тепличные хозяйства	Фитотроны
Крупные	Фирма А	Фирма В	
Средние	Фирма Б	Фирма Г	
Мелкие		Фирма Д	Фирма Е

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке сельскохозяйственных производств не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относятся средние и мелкие сельскохозяйственные компании;
- наиболее перспективным сегментом является предложение методики контроля компаниям мелких размеров;
- сегментом рынка, привлекательным для предприятия в будущем, является предложение методики контроля средним компаниям.

Анализ конкурентных технических решений

Для оценки рынка необходимо провести детальный анализ конкурирующих разработок. Его удобно провести с помощью оценочной карты. Для этого выберем несколько конкурентных разработок. Обозначим их как:

к1 — флуориметр WALZ MINI-PAM-II,

к2 — флуориметр PAM-2500.

Таблица 4.1.2. Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Портативность	0,08	1	5	4	0,08	0,4	0,32
4. Надежность	0,06	5	3	3	0,24	0,18	0,18
5. Безопасность	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
6. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	2	3	0,25	0,1	0,2
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
8. Простота эксплуатации	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
9. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	2	4	5	0,08	0,16	0,2
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	5	5	0,12	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	1	5	3	0,02	0,1	0,06
3. Цена	0,1	5	1	2	0,5	0,1	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	5	0,5	0,5	0,5
5. Финансирование научной разработки	0,08	1	4	4	0,08	0,32	0,32
Итого	1				3,79	3,73	3,81

Здесь B_i – балл i -го показателя, присуждаемый разработке по каждому критерию (от 1 до 5)

К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента. Конкурентоспособность рассчитывается по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

Где V_i – вес показателя.

По полученной карте можно сделать вывод, что данная разработка может конкурировать с уже имеющимися на рынке, хотя и не является наиболее оптимальной. Основное достоинство разрабатываемой установки заключается в ее низкой стоимости, при этом потеря функционала незначительна.

Важными недостатками этой разработки являются отсутствие финансирования и крайне низкий уровень проникновения на рынок.

SWOT-анализ

SWOT–анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Данный вид анализа применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов:

Первый этап состоит в описании сильных и слабых сторон разработки и выявлении ее возможностей и угроз. Эти параметры заносятся в матрицу SWOT-анализа. Второй этап состоит в выявлении сильных и слабых сторон разработки при помощи интерактивных матриц, представленных в табл. 4.1.3 ниже. Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа, приведенной в табл. 4.1.3

Таблица 4.1.3 Интерактивные матрицы проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	-	0	-
	B2	+	-	0	-
	B3	-	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	+	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.1.3

Слабые стороны проекта							
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
Возможности проекта	В1	-	-	-	-	-	+
	В2	-	-	-	-	-	-
	В3	-	-	+	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.4. итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Более низкая стоимость производства стенда. С2. Возможность экспресс-исследований. С3. Более широкий спектр применения. С4. Бесконтактный метод.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Технология является тестовым стендом. Сл2. Отсутствие целевого финансирования. Сл3. Необходима высокая квалификация у оператора. Сл4. Необходима ручная обработка результатов измерений. Сл5. Непостоянная структура стенда. Сл6. Недостаточная интеллектуальная защита стенда.</p>
<p>Возможности: В1. Отсутствие патентов на узлы и решения данного стенда. В2. Отсутствие производства подобных приборов в России. В3. Глубокое знание методики.</p>	<p>В1С1: Отсутствие патентов на узлы и решения позволит снизить стоимость производства стенда В2С3: Отсутствие производства таких приборов в России позволит найти им широкое применение</p>	<p>В1Сл6: Отсутствие патентов позволит уменьшить недостаточную интеллектуальную защиту путем подготовки патентов В3Сл3: Глубокое знание методики компенсирует необходимость использования высокой квалификации оператора</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Уширение спектра применения конкурентных товаров. У3. Отсутствие юридически оформленного заказчика. У4. Отсутствие планов на создание прибора на основе стенда.</p>	<p>У1С3: Отсутствие спроса затрудняет выявление областей применения У2С3: Уширение спектра применения конкурирующих товаров также тормозит расширение областей применения</p>	<p>У1У3Сл2: Отсутствие спроса и заказчика усиливает недофинансирование проекта У4Сл1: Отсутствие планов по разработке готового устройства, а не макета, затян timer разработку тестового стенда из-за отсутствия четких требований</p>

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

При планировании комплекса предполагаемых работ необходимо:

- определить структуру работ в рамках научного исследования;
- определить участников для каждого вида работы;
- установить продолжительности работ.

Структура работ в рамках научного исследования

Сперва для выполнения научного исследования формируется рабочая группа. В ее состав входят профессор кафедры ЛиСТ (далее — руководитель) и две студентки группы 4В31 (далее — бакалавры).

В данном разделе (табл. 4.2.1) представлен перечень этапов и работ в рамках проведения исследования с приведенными исполнителями по каждому виду работ.

Таблица 4.2.1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Выбор направления исследований	Руководитель
	2	Составление задания на ВКР	Руководитель
	3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель, бакалавры
Анализ порученного задания	4	Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	Бакалавры
	5	Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	Бакалавры
	6	Анализ конкурентных решений	Бакалавры
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	Бакалавры
	8	Подбор оборудования	Бакалавры
	9	Проверка реализации методики на имеющемся оборудовании	Бакалавры
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавры

Продолжение таблицы 4.2.1.

Оформление отчета по НИР	11	Представление результатов для отчета по НИР	Бакалавры
	12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	Бакалавры
	13	Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	Руководитель, бакалавры

Определение трудоемкости выполнения работ

На данном этапе рассчитывается трудоемкость работ каждого из участников исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где $t_{ожі}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ — минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ — максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

С учетом того, что над проектом трудится два исполнителя и допустив параллельность выполнения всех работ, продолжительность работы каждого исполнителя T_{pi} , в рабочих днях, рассчитывается по формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

Где $Ч_i$ — численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства длительность каждого из этапов следует перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

где T_{ki} — продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} — продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ — коэффициент календарности, рассчитываемый по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{(365 - 52 - 14)} = 1,22 \text{ кал. дн.},$$

где $T_{\text{кал}}$ — количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ — количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ — количество праздничных дней в году.

Рассчитанные по этим формулам параметры для каждой из работ сведены в таблицу ниже:

Таблица 4.2.2. Временные показатели научного исследования

№ раб.	Содержание работ	t_{min} , дн.	t_{max} , дн.	$t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность, календ. дн.
1	Выбор направления исследований	1	2	1,4	1,4	2
2	Составление задания на ВКР	1	2	1,4	1,4	2
3	Согласование задания с исполнителем	1	2	1,4	0,47	1
4	Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	2	4	2,8	1,4	2
5	Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	2	3	2,4	1,2	2
6	Анализ конкурентных решений	1	2	1,4	0,7	1
7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	3	5	3,8	1,9	3
8	Подбор оборудования	3	6	4,2	2,1	3
9	Проверка реализации методики на имеющемся оборудовании	2	3	2,4	1,2	2
10	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1,8	0,9	2
11	Представление результатов для отчета по НИР	10	14	11,6	5,8	8
12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	5	8	6,2	3,1	4
13	Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	2	4	2,8	0,93	2

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должны быть достоверно отражены все виды расходов, связанные с его выполнением. А именно это:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты на выполнение исследования включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В данной работе такими затратами являются расходы на приобретение семян, земли и емкостей для выращивания.

Стоимость покупаемых семян составила 69 рублей, земли — 98 рублей, емкостей для выращивания 158 рублей

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } xi}$$

где m — количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ — количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i — цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного исследования, занесены в таблицу 4.2.3

Таблица 4.2.3 Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Семена	шт	50	1,38	83,3
Земля	л	10	9,8	242,1
Торфяные горшки	шт	24	6,6	314,5
Итого				639,8

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для данного исследования оборудование отдельно не приобреталось. В этом случае рассчитывается амортизация оборудования на время исследования

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z_{об} = \frac{(Ц \cdot F_{\phi})}{(F_{н} \cdot F_{сс})}$$

где Ц – цена оборудования, р.;

F_н – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$$F_{н} = 365 - 52 - 14 = 299 \text{ дн.} = 299 * 8 = 2\,392 \text{ ч.}$$

F_{сс} – срок службы оборудования, год;

F_ф – фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 4.2.4.

Таблица 4.2.4 Затраты на амортизацию оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Срок службы, год	Время занятости, ч.	Затраты на амортизацию, руб.
1.	Avantes	218	5	6	109
2	CaryEclipse	1 704	3	80	18 996
3	Компьютер	25 000	7	400	597
Итого:					19 703

Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата исполнителей рассчитывается на основе данных об окладе, определяющем уровень месячной заработной платы в зависимости от трудоемкости работ.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}},$$

где $T_{\text{р}}$ — продолжительность работ, выполняемых научно-техническим сотрудником, раб. дн;

$Z_{\text{дн}}$ — среднедневная заработная плата сотрудника, руб, рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{м}}$ — месячный должностной оклад работника, руб.;

M — количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.2.5.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр 1	Бакалавр 2
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	12	12	12
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск			
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	253	253

Месячный оклад работника $Z_{\text{м}}$ рассчитывается как:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ — заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ — премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$ — коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Таблица 4.2.6.

Исполнители	Разряд	k_T	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	ППС 4	1	36 800	0,3	0,2	1,3	86112	3539,8	4,2	14 867,1
Бакалавр 1	ППС 1	1	9 893	0,3	0,2	1,3	23150	951,6	19,7	18 746,6
Бакалавр 2	ППС 1	1	9 893	0,3	0,2	1,3	23150	951,6	19,7	18 746,6
Итого $Z_{осн}$										52 360,3

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн},$$

где $k_{внеб}$ — коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 год для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность этот коэффициент составляет 27,1%.

Рассчитанные значения отчислений во внебюджетные фонды представлены в табл. 4.2.7.

Таблица 4.2.7. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	$Z_{внеб}$, руб.
Руководитель	14 867,1	4 029
Бакалавр 1	18 746,6	5 080,3
Бакалавр 2	18 746,6	5 080,3
Итого		14 189,6

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов, в частности затраты на электроэнергию, потраченную в ходе работы. Накладные расходы можно рассчитать как:

$$Z_{накл} = K \sum P_i \cdot F_{\phi i},$$

где K — тариф на расход электроэнергии, 5,8 руб. за 1 кВт/ч;

P_i — мощность i -го прибора;

Рассчитанные, по этой формуле расходы, представлены в таблице ниже:

Таблица 4.2.8. Расчет накладных расходов

Наименование оборудования	Время занятости, ч.	Мощность прибора, Вт	$Z_{\text{накл}}$, руб
Avantes	6	3,6	0,13
CaryEclipse	80	75	34,8
Компьютер	400	60	139,2
Итого $Z_{\text{накл}}$:			174,13

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.2.8. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	639,8
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	19 703
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	52 360,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	14 189,6
5. Накладные расходы	174,13
6. Бюджет затрат НИИ	87 066,8

4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность определяется на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Так как в данной работе рассматривается только одно исполнение разработки, имеет смысл определять ее эффективность по интегральному показателю ресурсоэффективности. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где a_i — весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i — бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания/

Расчет данного показателя приведен в табл. 4.3.1 ниже.

Таблица 4.3.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,14	5
4. Энергосбережение	0,3	4
5. Надежность	0,2	5
6. Материалоемкость	0,11	5
ИТОГО	1	

Тогда I_{pi} для д исполнения:

$$I_{p_{и1}} = 0,1 * 4 + 0,15 * 4 + 0,14 * 5 + 0,3 * 4 + 0,2 * 5 + 0,11 * 5 = 4,45$$

Так как данный показатель оценивается по пятибалльной шкале, можно сказать, что у данной разработки высокое значение ресурсоэффективности, в частности, и эффективности в целом.

В данном разделе бакалаврской работы был проведен анализ потенциальных потребителей разработки, анализ конкурентных решений, выполнено планирование исследовательских работ и бюджета НИИ, определена эффективность разработки.

Анализ потенциальных потребителей показал, что разработка может быть распространена среди компаний мелких размеров.

Анализ конкурентных решений выявил, что данная разработка не имеет явных преимуществ перед другими, но, тем не менее, является конкурентоспособной на рынке.

Планирование исследовательских работ показало, что для выполнения всего исследования необходимо затратить 34 дней. Следовательно, работа может быть выполнена за 2 месяца. Наиболее продолжительным этапом является написание отчета о работе.

Бюджет данного исследования составил 87 066,8 рублей.

Также исследование показало высокую эффективность с точки зрения ресурсоэффективности.

5. Социальная ответственность

В этом разделе рассмотрены вопросы, связанные с охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения при возникновении опасных ситуаций. Также проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на исследователя, а также приведены методы обеспечения безопасности, как для лаборатории, так и для организации в целом.

Научно-исследовательская работа представляет собой исследование люминесцентных методик оценки состояния живых растений. Данная методика позволит находить оптимальные условия роста и развития растений в экспресс-режиме. Потенциальными потребителями методики являются предприятия сельскохозяйственной отрасли, различные тепличные хозяйства и предприятия, разрабатывающие и изготавливающие фитосветильники. В первую очередь работа ориентирована на разработку принципиальной схемы стенда для анализа состояния растения в «фитотроне», разработанного на кафедре ЛиСТ. Работа выполнялась в лаборатории импульсной спектрометрии на кафедре лазерной и световой техники. К приборам, используемым в ходе работы относятся спектрометр Ava Spec, спектрофлуориметр Cary Eclipse и персональный компьютер.

Согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа принадлежит к разряду легких, но носит характер высокой умственной и нервно-психологической нагрузки.

5.1. Производственная безопасность

Идентификация опасных и вредных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ (с измен. 1999 г.) на рабочем месте выделены вредные и опасные производственные факторы, влияющие на здоровье и работоспособность лаборанта. Они приведены в таблице 5.5.1.

Таблица 5.1.1. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ

Наименование видов работ	Воздействующие факторы	Тип воздействия	Нормативные документы
1. Проведение измерений (работа со спектрометром и спектрофлуориметром) 2. Обработка измерений (работа с ЭВМ)	Недостаточная освещенность	Вредные	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
	Отклонение показателей микроклимата		СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
	Превышение уровней шума и вибрации		ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
	Психофизические факторы		СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
	Превышение уровня электромагнитных излучений		СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
	Поражение электрическим током	Опасные	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой операторов, высокой напряженностью зрительной работы. В процессе работы с компьютером необходимо

соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае может возникнуть значительное напряжение зрительного аппарата с появлением головных болей, раздражительности, усталости и болезненных ощущений в глазах.

Освещенность.

Утомление органов зрения вызывается как недостаточной, так и чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещенность достигается за счет естественного света, проникающего через оконные проемы, а при его недостаточности — за счет искусственного освещения светильниками.

В качестве источников искусственного света используются люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания, имеют большую световую отдачу и более длительный срок службы. Но при этом спектр люминесцентных ламп, а следовательно и индекс цветопередачи, значительно хуже чем у лампы накаливания.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0 освещенность рабочего стола должна составлять не менее $300 \div 500$ лк, что может достигаться применением местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов (их яркость на экране не должна превышать 40 кд/м^2).

Отклонение показателей микроклимата в помещении

Средние показатели микроклимата в рабочей лаборатории: температура $22-25^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха 40-50%, скорость движения воздуха 0,1-0,2 м/с; что является допустимым для работы I категории (СанПиН 2.2.4.548–96). Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

Общая площадь рабочего помещения составляет 54 м^2 (длина $A=9 \text{ м}$, ширина $B=6 \text{ м}$), объем составляет 206 м^3 (высота $C=3,8 \text{ м}$). В помещении располагается 3 рабочих места. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют $4,5 \text{ м}^2$ и 15 м^3 объема на одного человека. Таким образом, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

Проведя анализ габаритных размеров кабинета, рассмотрим микроклимат в этом помещении. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемых оконного и дверного проемов. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Согласно нормам СП 60.13330.2012. объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40 м^3 . В данном случае объем воздуха на одного человека составляет более 68 м^3 , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления, а в теплое время года – за счет проветривания.

Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он может создаваться работающим оборудованием, пускорегулирующей аппаратурой осветительных приборов дневного света, а также проникать извне. Шум вызывает головную боль, быструю утомляемость, ослабляет внимание, способствует снижению реакции.

Основным источником шума в рабочей лаборатории являются спектрофлуориметр (во время измерений) и вентиляторы охлаждения ЭВМ (во включенном состоянии). Уровень шума поднимается до 45 дБА и колеблется не более чем на 5 дБА . Согласно ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ уровень шума в подобных лабора-

ториях не должен превышать 50дБА, колебания в режиме медленно не превышать 7дБА. Следовательно, рабочее помещение соответствует нормам по показанию шума.

Психофизиологические вредные и опасные факторы

Психофизиологическими вредными и опасными факторами являются: напряжение зрения и внимания; интеллектуальные, эмоциональные и длительные статические нагрузки; монотонность труда; нерациональная организация рабочего места. Типичными ощущениями, которые испытывают к концу рабочего дня операторы ПЭВМ, являются: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания. Зрительное утомление вызывается особенностями изображения на дисплее ПЭВМ. Кроме того, большую нагрузку орган зрения испытывает при вводе информации, так как пользователь вынужден часто переводить взгляд с экрана на текст и клавиатуру, напрягая аккомодацию. Длительная и интенсивная работа на компьютере может стать источником тяжелых профессиональных заболеваний, таких, как травма повторяющихся нагрузок (ТПН), представляющая собой постепенно накапливающиеся недомогания, переходящие в заболевания нервов, мышц и сухожилий руки.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений при проведении исследовательской работы являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно Сан-ПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать 250нТл в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не

должен превышать 500В. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer 5750G со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 конструкция ВДТ и ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от корпуса не более 0,1 мбэр/ч(100мкР/ч). Предел дозы облучения для работников (операторов, программистов) составляет 0,5 бэр/год.

Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220В и частотой 50Гц. Исследовательская лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности по классу электропоражения, так как отсутствуют воздействующие факторы: повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электроприборов;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незащищенного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

5.2. Экологическая безопасность

Разрабатываемая методика позволяет ускорить рост растений без использования вредных компонентов, а значит, экологически безопасна и полезна. Однако, возможно загрязнение окружающей среды при утилизации используемого оборудования (при окончании срока службы либо выходе из строя).

В приборах имеется большое количество компонентов, содержащих токсичные вещества и представляющих угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. К таким веществам относятся: свинец, ртуть, никель, цинк щелочи и ряд других.

В связи с содержанием токсичных веществ экспериментальное оборудование и ЭВМ требуют специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- переплавление металлических частей для последующего производства;
- специализированная переработка неметаллических частей либо их утилизация.

Программа утилизации может быть предложена компанией-поставщиком оборудования либо специализированной компанией по рециклингу.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории импульсной спектрометрии кафедры лазерной и световой техники наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ), отравляющими веществами (ОВ), биологически (бактериологически) опасными и радиоактивными веществами. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях (ТЭЦ, АЭС, ЛЭП и др.), авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т. д.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Рассредоточение и эвакуация населения комбинированным способом осуществляется по территориально-производственному принципу. Это значит, что вывод населения организуется через предприятия, учреждения, учебные заведения и домоуправление по месту жительства.

Спасательные работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспе-

чить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

Очень важны действия аварийно технических формирований, которые немедленно должны отключить ещё не повреждённые энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Спасательные формирования ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы. Чем организованней, быстрее сработают все подразделения различных служб, тем меньше материального ущерба и человеческих жизней унесёт авария.

Существует 5 степеней огнестойкости зданий, сооружений. Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости.

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

1. составление планов эвакуации;
2. назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проёмов, окон, проходов и лестниц;
3. ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте.

5.4 Законодательное регулирование проектных решений

Для внутренней отделки помещений, где располагаются рабочие места, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения: 0,7-0,8 (для потолка), 0,5-0,6 (для стен) и 0,3-0,5 (для пола). Поверхность пола должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки,

уборки, обладать антистатическими свойствами. Особое внимание необходимо уделять пожарной безопасности, поскольку пожары в помещениях с компьютерной техникой сопряжены с опасностью для жизни людей и большими материальными потерями.

При длительной работе за компьютером необходимо соблюдать режим труда и отдыха. Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определённой длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учётом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. Для предупреждения преждевременной утомляемости оператора рекомендуется организовать рабочую смену путём чередования работ с использованием ПК и без неё. При постоянном взаимодействии с ПК с напряжением внимания и сосредоточенности рекомендуется организация перерывов на 10-15 мин через каждые 45-60 мин работы. Продолжительность непрерывной работы на ПК без перерыва не должна превышать 1 ч.

Заключение

Исследование процессов, протекающих в ФСА растения, показало, что процессы фотосинтеза и флуоресценции хлорофилла неразрывно связаны и являются конкурирующими процессами. Из этого следует, что по изменению параметров флуоресценции представляется возможным судить об интенсивности фотосинтеза. В свою очередь фотосинтез, как основной энергообразующий процесс растения, является показателем его жизнедеятельности.

Для контроля состояния растения по его спектрально-кинетическим характеристикам были выбраны такие параметры его кинетики, как F_0 , F_m , F_t и F'_m , так как этих параметров достаточно для расчета индексов, несущих информацию о состоянии растения.

В результате проделанной работы была разработана методика измерения спектров и кинетик люминесценции растений, подобрано оборудование для измерения из уже имеющегося в лаборатории.

Так спектральные характеристики флуоресценции растений могут быть измерены при помощи прибора Ava Spec фирмы Avantes как от куста, так и от листа с тем отличием, для измерений с куста требуется большая мощность источника возбуждения люминесценции, а при измерении от листа возможно использовать насадку Industrial Fluorescence Probe для спектрометра Ava Spec, которая значительно повышает эффективность измерения люминесценции.

Методика измерения параметров кинетической кривой флуоресценции была проверена на приборе CaryEclipse, который, при применении оптоволоконной оптики, представляется возможным использовать для измерения кинетик растений, выращиваемых в фитотроне.

Так как люминесцентный метод является быстрым и несет в себе информацию о текущей эффективности фотосинтеза растения и обладает высокой чувствительностью, данная методика удобна для анализа растения на начальных стадиях роста и развития.

Результаты данной работы могут быть положены в основу созданию люминесцентной экспресс-методики оценки состояния роста и развития растений при использовании светодиодных систем облучения (ОБУ) в теплицах.

Разработанная методика может быть использована для создания серии лабораторных работ по дисциплине «Биофотоника».

Список публикаций студента

За время обучения за авторством студента публикаций не выходило.

Список использованной литературы

1. Патент РФ № 2006132691/28, 13.09.2006. Рубин А. Б., Погосян С. И., Маторин Д. Н., Казимирко Ю. В., Ризниченко Г. Ю. Способ флуорометрического определения параметров фотосинтеза фотоавтотрофных организмов, устройство для его осуществления и измерительная камера // Патент России №2354958. — 2009. — Бюл. № 13.
2. Фотосинтез и флуоресценция. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://gordon0030.narod.ru/archive/12781/index.html>, свободный. — Загл. с экрана.
3. Веселовский В. А.. Люминисценция растений. — М.: Наука, 1990. — 200 с.
4. Суковатая И. Е.. Фотобиофизика. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие // Суковатая И. Е., Кратасюк В. А., Межевикин В. В. и др. — Электрон. дан. (9 Мб). — Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
5. Chlorophyll a // NIST [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://webbook.nist.gov/cgi/formula?ID=C42617163&Mask=400>, свободный.
6. Лекция 21: Теоретические основы работы люминесцентных сенсоров. Хронофлуорометры. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/590/446/lecture/9941>, свободный. — Загл. с экрана.
7. Полякова И. Б. Фотосинтез и его регуляция // Биология — 2002. — №34(665)
8. Ланкин А. В. Механизмы токсического действия полициклических ароматических углеводородов на фотосинтетический аппарат.: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05. — М., 2016. — 102 с.
9. Рубин А. Б. Первичные процессы фотосинтеза. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

- <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1159492&s=110300020>, свободный.
— Загл. с экрана.
10. Корепанов В. И.. Импульсный люминесцентный анализ: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 134 с.
 11. Стрибуль Т. Ф., Лысак Ю. С., Компаниец А. М.. Изменение интенсивности флуоресценции клеток меристемной ткани винограда под действием ряда криопротекторов. // Проблемы криобиологии — 2010 — Т. 20. — №3 — С. 297–302.
 12. Белов М. Л., Булло О. А., Федотов Ю. В., Городничев В. А.. Лазерный метод контроля состояния растений. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение» — 2015 — №2 — С. 71–82
 13. Погосян С. И. Лекция 4. Фотосинтез. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:
http://www.bio.msu.ru/res/DictionaryAttachment/245/DOC_FILENAME/MF_K_2015_vesna_Izlucheniya_9.pdf, свободный. — Загл. с экрана.
 14. Спектральные характеристики пропускания светофильтров из цветного стекла. [Электронный ресурс]. — Режим доступа:
http://www.elektrosteklo.ru/Color_Glass_Spectral_Transmittance.pdf, свободный. — Загл. с экрана
 15. Лысенко В. С., Вардуни Т. В., Сойер В. Г., Краснов В. П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода. // Biological sciences. — 2013. — №4. — с. 112-120.
 16. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. — К.: «Альтерпрес», 2002. — 188 с.
 17. Рубин А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. — 2000, — Т. 6 №4 — с. 7 – 13.
 18. Конев С. В., Волотовский И. Д. Фотобиология. — Минск: Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1979. — 385 с.