

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
Оптические характеристики растений на различных стадиях роста и развития

УДК 581.1-026.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В31	Филатова Дарья Евгеньевна		

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 рез-та	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 <i>следовать корпоративной культуре</i> 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	Филатовой Дарье Евгеньевне

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 — спектры растений и их зависимость от параметров окружающей среды. Предмет исследования — зелёные растения (томаты, базилик, салат) Аппаратура — 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; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Знакомство с литературой по теме исследования;</p> <p>2. Обоснование и выбор параметра для оценки скорости фотосинтеза по спектральным кинетическим характеристикам растений;</p> <p>3. Обоснование и выбор методов и средств измерения.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

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:

перевод осуществляться не будет

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	Филатова Д.Е.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4В31	Филатовой Дарье Евгеньевне

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. Заработная плата 39 011,8 руб Бюджет НИИ 50936.4руб</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф на электроэнергию 5,8 руб., норма амортизации 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 г. 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. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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	Филатова Дарья Евгеньевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4В31	Филатовой Дарье Евгеньевне

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	В научно-исследовательской работе разрабатывается экспресс-методика оценки состояния растения оптическими методами
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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>1.1 К выявленным вредным факторам можно отнести микроклимат, освещённость, шум, психо-эмоциональное напряжение и превышение уровня электромагнитных излучений.</p> <p>1.2 К выявленным опасным факторам можно отнести вероятность поражения электрическим током.</p>
<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; 	<p>Существует вероятность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	
<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. 	К правовым мерам обеспечения безопасности относится организация рабочего пространства и соблюдение режима труда-отдыха.

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	Филатова Дарья Евгеньевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 88 с., 27 рис., 18 табл., 27 источников.

Ключевые слова: растения, фитотрон, вегетационные индексы, спектр отражения, спектр поглощения.

Объект исследования: спектры растительности, экспресс-методика оценки состояния растений.

Цель работы: анализ методов определения состояния развития растений (интенсивности фотосинтеза) и оценка возможности проведения подобных измерений на базе материально-технического обеспечения кафедры ЛиСТ НИ ТПУ.

В процессе исследования: проводились сбор, обработка и систематизация литературных данных об оптических свойствах растений; разрабатывалась методика для измерения спектров растений, оценки состояния растений по этим спектрам; проводился экономический анализ работ, были определены мероприятия по технике безопасности.

В результате исследования сделан вывод о возможности использования методики, разработаны рекомендации по созданию экспериментального стенда.

Степень внедрения: дальнейшая разработка методики может получить практическое применение и выйти на рынок вспомогательного оборудования для фитотронов и теплиц.

Область применения: система обратной связи для управления облучательными установками фитотронов и теплиц.

Экономическая значимость работы: создание методики, которая дешевле и применимее существующих аналогов.

В дальнейшем планируется разработка опытного стенда на основе существующей методики.

Содержание

Введение	12
1. Обзор литературы	
1.1 Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения	
1.1.1 Назначение процесса фотосинтеза	15
1.1.2 Поглощение света и перенос энергии к фотореакционному центру	16
1.1.3 Процессы в фотореакционном центре	17
1.1.4 Расщепление воды, перенос электрона по ЦЭТ	20
1.1.5 Образование НАДФ•Н и синтез АТФ	22
1.1.6 Темновая стадия фотосинтеза	24
1.2 Интенсивность фотосинтеза	25
1.3 Зависимость интенсивности фотосинтеза от факторов внешней среды	26
1.4 Оптические параметры и характеристики листьев и плодов растений	
1.4.1 Спектры отражения листьев и плодов растений	31
1.4.2 Спектры поглощения пигментами	35
1.5 Методы и аппаратура для измерения оптических параметров и характеристик листьев и плодов растений и контролируемые с их помощью процессы	37
2. Аналитическая часть	
2.1 Сравнительный анализ методов определения скорости процессов фотосинтеза	41
2.2 Возможности и проблемы метода оценки скорости фотосинтеза по спектрам поглощения и отражения растений	
2.2.1 Индексы вегетации, их связь с другими параметрами развития растений	42
2.2.2 Спектры поглощения и отражения	49
2.3 Методики измерения спектров поглощения и отражения в фитотроне на основе оптоволоконной спектрометрии	
2.3.1 Схема измерения спектров отражения растений в фитотроне на основе оптоволоконных спектрометров	53
2.3.2 Схема измерения спектров отражения листьев растений на основе оптоволоконных спектрометров	55
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения	

научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	58
3.1.3 SWOT-анализ	59
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	61
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	63
3.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	69
4. Социальная ответственность	
4.1 Производственная безопасность	71
4.2 Экологическая безопасность	77
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
4.4 Законодательное регулирование проектных решений	80
Заключение	81
Приложение А	82
Список используемых источников	86

Введение

Разработка аппаратно-программного комплекса управления процессами облучения растений в теплицах требует создания эффективной системы обратной связи. В основе организации обратной связи для системы управления, безусловно, должны лежать требования растений к необходимым и достаточным в данный период вегетации значениям количества и качества излучения.

Разработка экспресс-методов контроля состояния растений и определения требуемых параметров облучения на основе анализа этих состояний является наиболее перспективным путём создания обратной связи в системе управления процессами облучения растений. Востребованность разрабатываемой методики обусловлена необходимостью создания системы управления и мониторинга в адаптивных системах облучения растений на основе светодиодов. Разработка такой эффективной системы позволит в режиме реального времени контролировать состояние работы фотосинтетического аппарата растений. Это даёт возможность не только создавать необходимые и достаточные условия облучения растений в теплицах, но и подбирать их близкие к идеальным. Это может быть использовано для повышения урожайности и регуляции фотохимических процессов в растении (то есть управления вкусовыми и другими показателями качества выращенной продукции).

Владение экспресс-методикой оценки реакции растения на изменение параметров облучения существенно ускорит выявление оптимальных режимов облучения различных видов растений при использовании светодиодных систем облучения. В настоящее время, чтобы определить оптимальные режимы облучения, требуется изучить рост и развитие растения при различных режимах работы светодиодных облучательных

установок в течение всего периода вегетации, то есть в течение нескольких месяцев или лет.

В основе любой системы управления лежат сигналы. В данном случае необходимы оптические сигналы, которые с помощью приёмников будут преобразованы в электрические. Однако возникает проблема в выборе сигналов, которые должны преобразоваться в оптические, и их регистрации. Обеспечиваемая цепочка выглядит следующим образом: оптический сигнал – фотохимический сигнал – оптический – электрический.

Биологический оптический сигнал – это некоторая фотохимическая реакция. Предстоит выбрать, какую реакцию взять за основу. Очевидно, нужна та, которая в наибольшей степени отражает реакцию растения на внешнее воздействие: изменяющиеся условия облучения (в нашей задаче) или, например, недостаток удобрений.

В настоящее время учёными всего мира при помощи оптических методов активно изучаются процессы, происходящие в фотосинтетическом аппарате растений, в том числе механизмы, вызывающие стрессовые состояния из-за многих внешних факторов. Эти исследования носят преимущественно фундаментальный характер.

Для исследований широко используются оптические методы, на базе которых создано большое количество различных приборов. Однако они имеют свои недостатки: дороговизна, узкая специализация по применению, сложность в использовании. По этим причинам уже существующие приборы не могут быть использованы для создания экспресс методик. Возникает необходимость в простом и эффективном устройстве для оценки реакции растений на изменение параметров фотосинтетической активности.

В основу экспресс-методики может быть положено определение оптических характеристик растений. Результаты известных к настоящему времени мировых исследований позволяют с уверенностью говорить о перспективности такого подхода. К настоящему времени подробно изучены спектры поглощения и отражения хлорофилла и других пигментов в

растениях. Показано, что на основе значений этих характеристик можно судить о процессах фотосинтетической активности (связанной, как правило, с фитомассой растительности). По спектрам поглощения хлорофилла определяют его количество в листе. Большой популярностью пользуются «индексы вегетации», которые вычисляются на основе измеренных спектров отражения листьев растений.

В настоящее время разработаны методики и созданы приборы для определения по спектрам поглощения и отражения листьев растений количества накапливаемого хлорофилла в растениях и исследования ряда процессов в растениях, которые зависят от внешних условий. Например, широко применяется такая методика для оценки требуемых азотных удобрений. Изучение процессов, происходящих в фотосинтетическом аппарате в условиях изменения потока ФАР, требует разработки специальной экспериментальной установки.

Цель настоящей работы – сделать анализ методов определения состояния развития растений (интенсивности фотосинтеза) и обосновать выбор оптических методик оценки состояния растений при исследованиях в фитотронах.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

1. Обоснование принципа оценки состояния растений по спектрам поглощения и отражения
2. Обоснование и выбор параметра (индекса) для оценки скорости фотосинтеза по спектрам отражения
3. Обоснование схем измерений
4. Обоснование методов и средств измерения
5. Испытание методики

Планируемые результаты:

Рекомендации для разработки методик оценки состояния растений при исследовании влияния параметров ФАР на процессы роста и развития растений в фитотронах.

1. Обзор литературы

1.1. Сведения о процессах в фотосинтетическом аппарате растений при поглощении квантов излучения

1.1.1 Назначение процесса фотосинтеза

В результате фотосинтеза образуются углеводы (сахара), которые используются как источник энергии и строительный материал для синтеза различных органических соединений у растений. У высших растений в клетках присутствуют специализированные энергопреобразующие органеллы – хлоропласты, в которых и протекают процессы фотосинтеза [1].

Суть фотосинтеза заключается в восстановлении диоксида углерода до углеводов за счёт поглощаемой световой энергии. Источником водорода для синтеза органических молекул служит вода. Расчёт показывает, что для синтеза одной молекулы глюкозы необходимо по шесть молекул CO_2 и H_2O :



Современная наука представляет фотосинтез как ряд фотофизических и биохимических процессов. Несмотря на многочисленность таких процессов, фотосинтез принято разделять на две большие фазы – световую и темновую.

Световые процессы фотосинтеза протекают в тилакоидах – замкнутых пузырьках, находящихся под двойной оболочкой хлоропласта. Их мембраны содержат различные компоненты фотосинтетического аппарата: светособирающие, электронтранспортные и синтезирующий АТФ комплексы. В результате световых стадий фотосинтеза энергия, поглощённая растениями, запасается в виде химических связей молекул АТФ и сильного восстановителя НАДФ•Н, которые используются для синтеза углеводов во время темновых стадиях фотосинтеза [2].

На данный момент времени энергопреобразующие комплексы растений достаточно хорошо изучены. Для разных живых организмов такие комплексы не идентичны, существуют различия, как в строении, так и в составе. Но, тем не менее, обнаружены общие закономерности преобразования энергии. Единым структурно-функциональным звеном фотосинтетических систем является фотосистема, состоящая из светособирающей антенны, фотохимического реакционного центра и связанных молекул, служащих переносчиками электронов.

1.1.2 Поглощение света и перенос энергии к фотореакционному центру

Процесс фотосинтеза начинается с поглощения света, молекулами-пигментами, входящими в состав светособирающей антенны. Это могут быть молекулы хлорофилла или другие пигменты, например, каротиноиды. Их описание будет представлено ниже. Хлоропласт, являющийся ячейкой светособирающей антенны, содержит до нескольких сотен молекул хлорофилла и несколько каротиноидов в каждом фотореакционном центре.

Поглощение кванта света молекулой одного из пигментов приводит к ее возбуждению. Энергия возбуждённой молекулы передаётся молекулам соседних пигментов, которые, в свою очередь, могут передать её другим молекулам светособирающей антенны.

Основным механизмом передачи электронного возбуждения между молекулами пигментов является резонансный перенос. Чтобы этот перенос энергии произошёл, возбужденная молекула должна передать возбуждённое состояние в другой молекуле, находящейся по соседству.

Путём резонансного переноса энергия возбуждения передаётся по пигментной матрице, пока не попадёт на фотореакционный центр (Р). Иллюстрация этого процесса приведена на рис. 2.

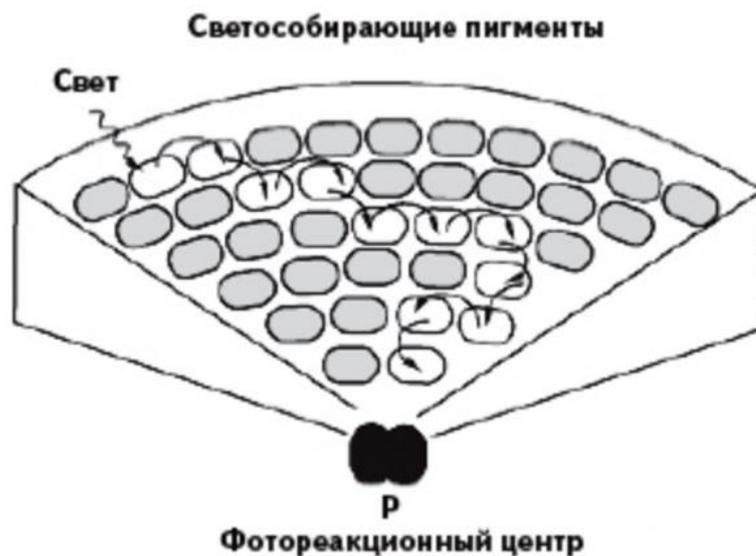


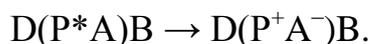
Рис.2. Схема миграции энергии возбуждения по пигментной матрице светособирающей антенны к фотореакционному центру Р

Продолжительность существования молекул пигментов в возбужденном состоянии невелика, $\tau \approx 10^{-10} - 10^{-9}$ с, поэтому есть вероятность рассеяния энергии: в виде тепла или флуоресценции. В действительности такой исход, как правило, не превышает 10-15% - светособирающая антенна представляет собой высокоупорядоченную структуру, обеспечивающую очень хорошее взаимодействие пигментов друг с другом. Время передачи энергии между соседними пигментами, как правило, составляет $\tau \approx 10^{-12} - 10^{-11}$ с, поэтому основная часть энергии успевает попасть на реакционный центр [3].

1.1.3 Процессы в фотореакционном центре

Сам реакционный центр представляет собой пару молекул хлорофилла, выполняющих роль ловушки для энергии возбуждения, передающейся по пигментной матрице антенны (рис. 2); молекулы первичного и вторичного акцепторов электрона (в дальнейшем обозначены как А и В) и первичный донор электрона – молекулу D. При возбуждении реакционного центра запускается цепь дальнейших превращений энергии света. Во-первых, реакционный центр передаёт электрон находящемуся рядом с ним

первичному акцептору электрона А (это самопроизвольный процесс, т.к. возбуждённый реакционный центр Р* обладает низким сродством к электрону):



Порядок скорости передачи электрона от Р* к А совпадает со скоростью передачи энергии между пигментами в светособирающей антенне. В результате этого процесса реализуется второй этап фотосинтеза – разделение зарядов в реакционном центре. Во время этого этапа образуются сильный восстановитель А⁻ (донор электрона) и сильный окислитель Р⁺ (акцептор электрона). Схема разделения приведена на рис. 3.

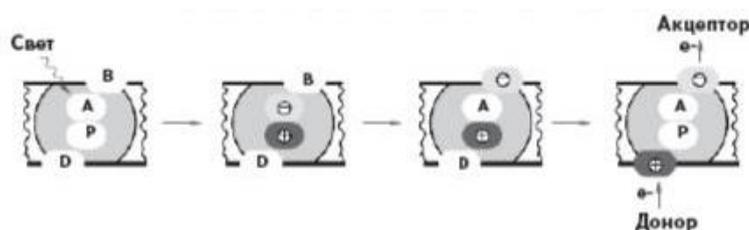
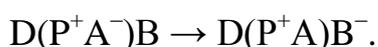


Рис. 3 Схема разделения зарядов в мембране, вызванного фотовозбуждения реакционного центра [1]

Разделение зарядов между молекулами приводит к разности электрических потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_{in} - \varphi_{out} > 0$. КПД разделения зарядов в активных фотосинтетических реакционных центрах, как правило, превышает 90–95% (для сравнения: у лучших образцов фотоэлементов КПД не более 30%).

Далее происходит стабилизация разделённых зарядов. Она обеспечивается в основном за счёт вторичных процессов электронного транспорта, следующих за переносом электрона от Р* к А. За время 10^{-10} – 10^{-9} с электрон от восстановленного первичного акцептора А⁻ переходит ко вторичному акцептору электрона В:



При этом заметно снижается энергия всей системы (рис. 4). Это означает, что для переноса электрона в обратном направлении (переход В⁻ →

А) необходимо преодолеть достаточно высокий энергетический барьер. Высота этого барьера составляет $\Delta E \approx 0,3-0,4$ эВ, где ΔE – разность энергетических уровней при нахождении электрона на переносчике А или В. Из этого следует, что, в прямом направлении (переход $A^- \rightarrow B$) электрон переносится намного быстрее, чем в обратном (от восстановленной молекулы B^- к окисленной А). Поэтому для электрона вероятность переноса на акцептор В и рекомбинации с положительно заряженным рекомбинационным центром P^+ сводится к минимуму.

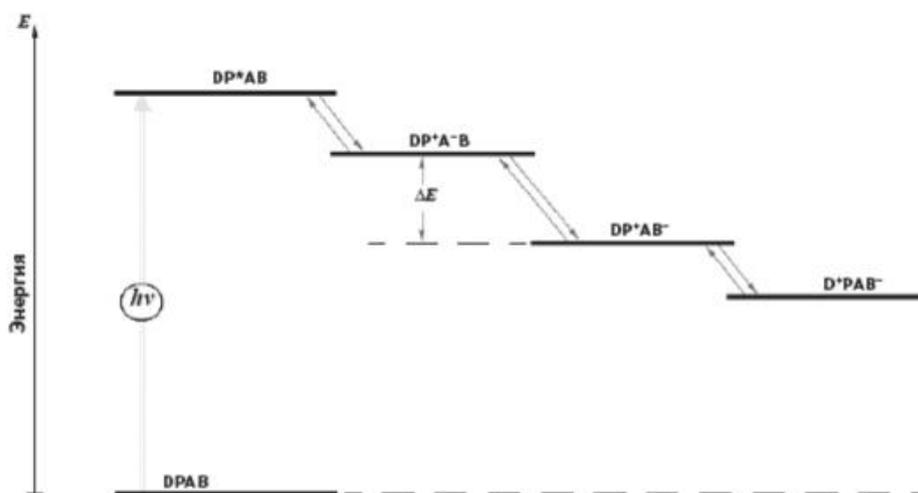


Рис.4. Схема энергетических уровней фотосистемы при различных состояниях реакционного центра (P), первичного донора электрона (D), первичного (A) и вторичного (B) акцепторов электрона [1]

Дополнительным фактором, за счёт которого стабилизируются разделённые заряды, служит быстрая нейтрализация окисленного центра P^+ за счет электрона, поступающего от донора электрона D:



При получении электрона от молекулы донора D реакционный центр P восстанавливает исходное состояние. Он больше не примет электрон от восстановленных акцепторов и готов к новому срабатыванию. Это общая последовательность, происходящая в любой фотосинтезирующей системе.

1.1.4 Расщепление воды, перенос электрона по ЦЭТ

В хлоропластах высших растений имеются две фотосистемы: фотосистема 1 (ФС1) и фотосистема 2 (ФС2), различающиеся по составу белков, пигментов и оптическим свойствам. Между собой их отличает спектр работы светособирающих антенн: антенна ФС1 поглощает свет с длиной волны $\lambda \leq 700\text{--}730$ нм, а ФС2 – свет с $\lambda \leq 680\text{--}700$ нм. Свет порождает окисление реакционных центров этих фотосистем, вызывая обесцвечивание, которое проявляется как изменения их спектров поглощения при $\lambda \approx 700$ и 680 нм, ФС1 и ФС2 соответственно. Реакционные центры ФС1 обозначаются как P_{700} и ФС2 как P_{680} .

Между двумя этими фотосистемами есть связь – цепь электронных переносчиков. Электроны поставляются из ФС2 в ФС1. Разделение зарядов, происходящее под действием света, в фотореакционных центрах обеих ФС обеспечивает перенос электрона от воды, разлагаемой в ФС2, к итоговому акцептору – молекуле НАДФ⁺. На рисунке 5 изображена схема взаимного расположения электронтранспортных комплексов в тилакоидной мембране и путь переноса электрона от воды к НАДФ⁺. Цепь электронного транспорта (ЦЭТ), которая соединяет две фотосистемы, включает в себя молекулы пластохинона, отдельный электронтранспортный белковый комплекс (так называемый b/f-комплекс) и водорастворимый белок пластоцианин (P_c). Эти компоненты используются в качестве переносчиков электронов.

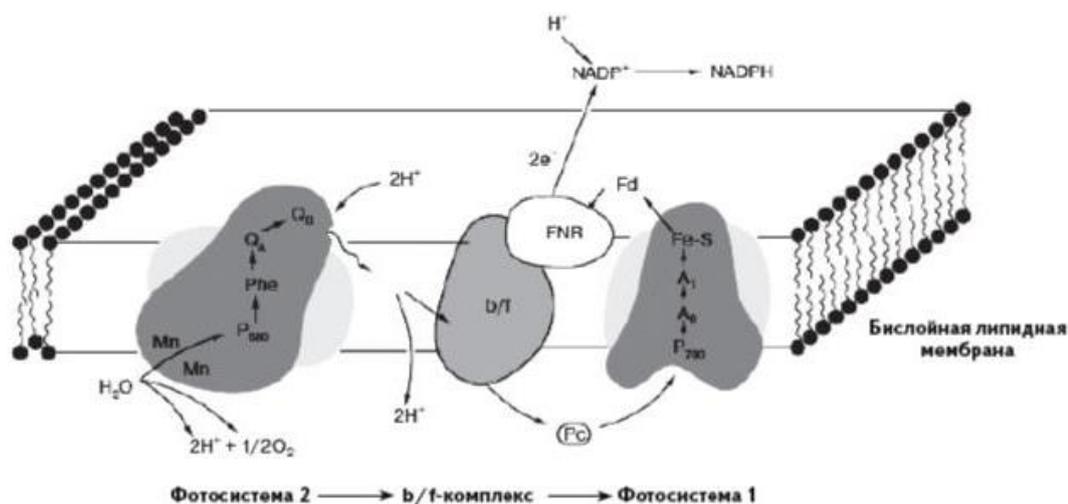
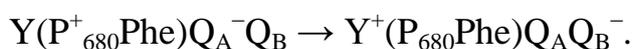
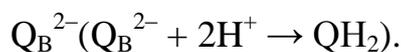


Рис.5. Расположение электротранспортных комплексов (ФС1, ФС2 и b/f-комплекс) и их взаимодействие в тилакоидной мембране [1]

В ФС2 от возбужденного центра P^*_{680} электрон переносится на первичный акцептор феофетин (Phe), а оттуда на молекулу пластохинона Q_A , связанную с одним из белков ФС2. После этого электрон переносится на вторую молекулу пластохинона Q_B , а реакционный центр P_{680} получает электрон от первичного донора электрона Y:

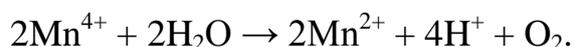


Молекула пластохинона Q_B способна принять два электрона, которые она получит после двукратного срабатывания реакционного центра ФС2. При накоплении двух электронов, заряд молекулы становится Q_B^{2-} . Она начинает обладать высоким сродством к ионам водорода, которые захватываются из пространства вокруг тилакоидов:



Связь ФС2 с другими электротранспортными комплексами происходит следующим образом. Образуется электрически нейтральная форма молекулы пластохинона QH_2 , (теперь её называют пластохинолом), которая и выполняет роль подвижного переносчика. Пластохинол покидает ФС2 и может свободно передвигаться внутри тилакоидной мембраны, перенося с собой два электрона и два протона.

Окисленный реакционный центр ФС2 P₆₈₀ обладает исключительно высоким сродством к электрону, т.е. является очень сильным окислителем. Входящий в состав ФС2 водорасщепляющий комплекс (ВРК) содержит в своем активном центре группу ионов марганца (Mn²⁺), которые служат донорами электрона для P₆₈₀. Ионы марганца служат местом для накопления положительных зарядов, которые примут участие в окислении воды, отдавая свои электроны окисленному реакционному центру. После того, как реакционный центр последовательно сработает 4 раза, в активном центре ВРК, содержащем марганец, накопится четыре окисленных иона марганца, являющихся сильными окислительными эквивалентами. Реакция разложения воды происходит при участии этих ионов с двумя молекулами воды:



Так, после последовательной передачи четырех электронов от водорасщепляющего комплекса к реакционному центру P₆₈₀ происходит одновременное разложение двух молекул воды, которое сопровождается выделением одной молекулы кислорода и четырёх ионов водорода (они попадают во внутритилакоидное пространство хлоропласта).

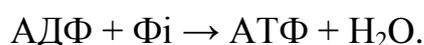
1.1.5 Образование НАДФ•Н и синтез АТФ

Образовавшаяся при функционировании ФС2 молекула пластохинола QH₂ при столкновении с b/f-комплексом (после диффундирования внутрь мембраны) передаёт два электрона b/f-комплексу. При этом, во внутреннее пространство тилакоида выделяются два иона водорода. А комплекс b/f служит донором электрона для пластоцианина (P_c), обеспечивающего перенос электрона от этого комплекса к ФС1. От восстановленного пластоцианина электрон поступает уже к окисленным реакционным центрам ФС1 – P₇₀₀⁺ (рис. 5).

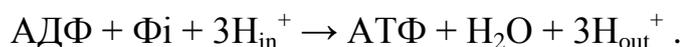
Дальнейший перенос электрона от акцепторов ФС1 к НАДФ⁺ происходит при участии растворенного белка ферредоксина (Fd) и

связанного с мембраной специального электротранспортного комплекса – ферредоксин-НАДФ-редуктаза (FNR). Эти компоненты функционируют на внешней стороне тилакоидной мембраны, в клетке хлоропласта. При восстановлении одной молекулы НАДФ⁺ до НАДФ•Н на неё переносится ион водорода и два электрона, захваченные из внутреннего пространства хлорофилла. НАДФ•Н является сильным восстановителем, который образуется из молекулы НАДФ⁺ в результате совместного действия ФС1 и ФС2 через цепь электронного транспорта [4].

При переносе электрона по ЦЭТ, энергия последнего как правило, понижается. В обычных условиях функционирования хлоропластов основная часть энергии, выделяющейся в ходе электронного транспорта, используется для работы преобразующего комплекса, который называется АТФ-синтазой. Этот комплекс нужен для катализации энергетически невыгодного процесса образования АТФ из АДФ и неорганического фосфата Ф_i. Реакция выглядит следующим образом:



Энергетическое сопряжение в мембранах тилакоидов, как и в других энергопреобразующих органеллах (митохондрии, хроматофоры фотосинтезирующих бактерий), выполняет протонный транспорт. Синтез АТФ связан с переносом через АТФ-синтазу трёх протонов из тилакоидов (3H_{in}^+) в строму (3H_{out}^+):



Так как переносчики расположены в мембране ассиметрично, происходит накопление избыточного количества протонов внутри тилакоида. Тогда ионы водорода поглощаются снаружи (на стадиях, когда восстанавливается НАДФ⁺ и образуется пластохинол), а выделяются внутри тилакоидов во время стадий разложения воды и окисления пластохинола (рис. 5). Освещение хлоропластов приводит к значительному (на 2-3 порядка) росту концентрации ионов водорода Н⁺ внутри тилакоидов [2].

В ходе вышеописанной цепочки энергия солнечного света запасается в форме энергии химических соединений молекул– АТФ и НАДФ•Н. Это продукты световой стадии фотосинтеза. После они используются в темновых стадиях, когда образуются органические соединения (углеводы) из углекислого газа и воды. Кратко описать процессы световой стадии, приводящие к образованию АТФ и НАДФ•Н, можно следующим образом:

- поглощение энергии света пигментами светособирающей антенны;
- перенос энергии возбуждения к фотореакционному центру;
- окисление фотореакционного центра и стабилизация разделенных зарядов;
- перенос электрона по цепи электронного транспорта, образование НАДФ•Н;
- трансмембранный перенос ионов водорода;
- синтез АТФ.

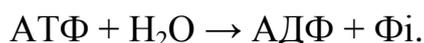
1.1.6 Темновая стадия фотосинтеза

Результатом биохимических реакций, составляющих темновую стадию фотосинтеза, является образование углеводов из усвоенного атмосферного углекислого газа. Ферменты, необходимые для протекания темновой стадии, находятся во внутривещном пространстве, без дополнительной защитной тилакоидной мембраны. При нарушении оболочки хлоропласта эти ферменты будут вымываться, а растение потеряет способность усваивать углекислый газ.

В зависимости от типа растения темновая стадия может происходить несколькими путями: С₃-путь (цикл Кальвина), С₄-путь (цикл Хетча-Слэка) и САМ-путь [3]. В ходе этих циклов происходят разные химические реакции, для понимания процесса которых достаточно рассмотреть основной цикл – цикл Кальвина

В результате цикла Кальвина–Бенсона три молекулы CO_2 и воды в хлоропластах образует молекулу глицеральдегид-3-фосфата, химическая формула которого выглядит как $\text{CHO}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{O}-\text{PO}_3^{2-}$. Можно заметить, что в расчёте на каждую молекулу CO_2 , включающуюся в глицеральдегид-3-фосфат, расходуются три молекулы АТФ и две молекулы НАДФ•Н.

Для описанных превращений используется энергия, выделенная в результате реакции гидролиза фосфатных связей молекул АТФ:



В присутствии сильного восстановительного потенциала – молекулы НАДФ•Н – происходит дальнейший синтез фосфатных соединений, которые в результате биохимических реакций становятся чистыми углеводами [1].

1.2 Интенсивность фотосинтеза

В ходе двух фаз – световой и темновой – из углекислого газа и воды под действием солнечного света образуются органические молекулы. Интенсивность фотосинтеза оценивается по количеству углекислого газа, поглощённого за единицу времени единицей массы или единицей листовой поверхности. Интенсивность фотосинтеза может быть выражена в различных единицах: миллиграммы CO_2 , синтезированного 1 дм^2 листа за 1 ч; миллилитры O_2 , выделенного 1 дм^2 листа за 1 ч; миллиграммы сухого вещества, накопленного 1 дм^2 листа за 1 ч. В зависимости от вида растения этот показатель колеблется от 5 до 25 $\text{мг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$. [5] Ещё есть понятие продуктивности фотосинтеза, описывающее итоговое увеличение массы всего растения относительно площади листьев. Интенсивность и продуктивность фотосинтеза не имеют прямой зависимости с урожаем, но тем не менее являются важными показателями, так как позволяют оценить накопление растениями органического вещества.

Интенсивность фотосинтеза можно определять газометрическими и радиометрическими методами. Газометрические методы основаны на

определении количества потреблённого углекислого газа (либо количества выделенного кислорода). При этом можно использовать весовые показатели поглощаемых или выделяемых газов, объёмные, показатели давления, теплопроводности определяемых газов, окраски и ряда других. Однако, при интерпретации данных, полученных любым методом, следует иметь в виду, что на свету растения не только фотосинтезируют, но и дышат. То есть, все измеренные показатели представляют собой результат двух противоположных процессов: фотосинтеза и дыхания. Это называется видимым фотосинтезом— это разность между количеством, поглощённым в процессе фотосинтеза, и выделенным в процессе дыхания. Чтобы перейти к истинной величине фотосинтеза, всегда необходимо вносить поправку, учитывающую интенсивность дыхания. Вторая группа методов – радиометрические – определяют интенсивность поглощения $C^{14}O_2$ растением по наличию в нем C^{14} или изменение радиоактивности газовой смеси [6]. Продуктивность фотосинтеза определяют по приросту массы в растении. При этом используют такие методы, как: измерение количества сухого вещества высечек из листа через определённый временной промежуток, накопление углеводов в листе через определённый временной промежуток, изменение теплоты сгорания сухого вещества листьев за период экспозиции их на свету.

В процессе вегетации интенсивность и продуктивность фотосинтеза возрастают постепенно от начала развития, достигают максимума в фазе цветения-плодообразования, а затем постепенно убывают.

1.3 Зависимость интенсивности фотосинтеза от факторов внешней среды

В естественной обстановке все условия влияют друг на друга, т. е. воздействие одного из них зависит от всех остальных. В общем виде это выглядит так: изменение одного фактора при неизменности прочих влияет на фотосинтез, начиная от минимального уровня (когда процесс начинается) и заканчивая каким-то значением, при достижении которого процесс перестаёт

изменяться (выход на насыщение). Зачастую увеличение воздействия фактора после такого уровня даже приводит к снижению интенсивности процесса фотосинтеза. Однако если начать изменять другой параметр, то оптимальное значение для первого изменится, и обычно в сторону увеличения [2].

Влияние содержания хлорофилла на интенсивность процесса фотосинтеза. Процесс фотосинтеза возрастает с увеличением концентрации хлорофилла, но между этими параметрами нет прямой взаимосвязи. Если ввести понятие ассимиляционного числа – количества CO_2 , усвоенного единицей содержания хлорофилла за единицу времени – то оно будет обратно пропорционально содержанию хлорофилла. Но и этот фактор зависит от интенсивности освещения. Так, при низкой освещённости интенсивность фотосинтеза ограничивается скоростью световых реакций, и ассимиляционное число уменьшается почти незаметно. Но при достаточной освещённости ассимиляционное число может падать даже в 10 раз. Тогда при высокой интенсивности света даже сравнительно небольшого количества хлорофилла может оказаться достаточно для достижения светового насыщения [2].

Влияние света. Для фотосинтеза характерно наличие нижнего порога освещённости около 1 Кд на 1 м. Затем увеличение интенсивности освещения проходит пропорционально усилению фотосинтеза. В пределах этой освещённости скорость фотосинтеза ограничивается светом. После зависимость фотосинтеза от интенсивности продолжает возрастать, но медленнее и, наконец, выходит на насыщение. Наклон кривых, выражающих зависимость фотосинтеза от освещённости, зависит от типа растений, других внешних факторов, и скорости темновых реакций фотосинтеза.

Следует особо отметить следующие моменты. Во-первых, важность типа растения. По отношению к свету различают 3 группы: светолюбивые, теневыносливые, тенелюбивые (их световое насыщение приведено на рис 6). Между собой эти группы отличаются положением компенсационной точки –

той освещённости, когда процессы фотосинтеза и дыхания уравниваются друг друга. Рост растения может происходить только при освещённости большей, чем в компенсационной точке. Компенсационная точка растёт с повышением температуры, так как повышение температуры сильнее увеличивает дыхание, чем фотосинтез. Поэтому при пониженной освещённости (например, в оранжереях зимой) необходима умеренно положительная температура; повышение температуры в таких условиях может уменьшить скорость роста растений. Во-вторых, действие каждого фактора зависит от других, и, в первую очередь, от того, который находится в минимуме. В-третьих, с увеличением интенсивности освещения возрастает в основном скорость световых реакций, и темновые попросту не успевают за первыми [4].

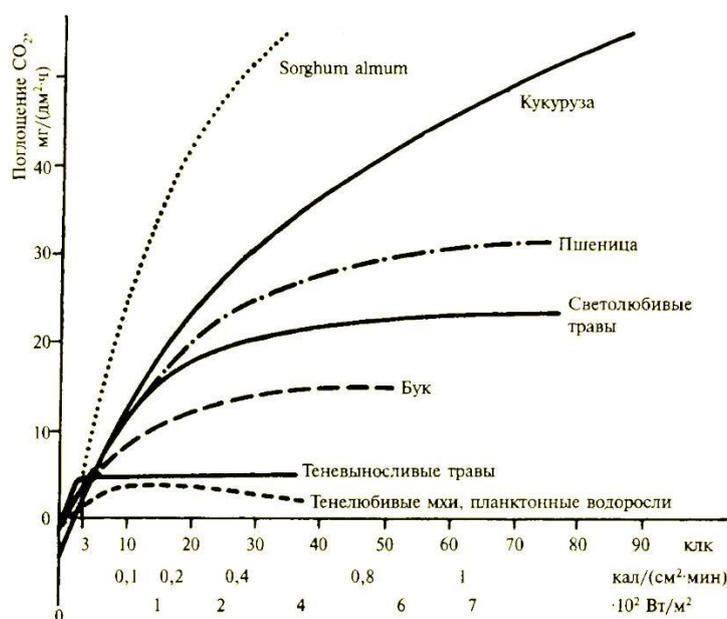


Рис. 6. Световое насыщение разных типов растений [2]

Влияние снабжения кислородом. Хотя кислород и является одним из продуктов фотосинтеза, в условиях полного анаэробноза процесс фотосинтеза останавливается. Предположительно, это связано с торможением процесса дыхания и накоплением продуктов неполного окисления. Подтверждение тому – повышение вредного влияния анаэробноза в кислой среде. Повышение концентрации кислорода до 25% также тормозит

фотосинтез. Это явление носит название эффекта Варбурга и объясняется тем, что кислород и диоксид углерода являются конкурирующими ингибиторами: их усвоение производится одним активным центром. При высокой освещённости происходит активация фотодыхания, то есть усвоения кислорода, что снижает общий выход фотосинтеза [8].

Влияние содержания CO_2 в воздухе на интенсивность процесса фотосинтеза. Для прохождения процесса фотосинтеза необходим углерод, источником которого является углекислый газ. Были попытки заменить его угарным – CO – газом, но они не возымели результатов. Часть CO_2 может поступать из почвы при помощи корневой системы, но в основном растения используют диоксид углерода из атмосферы, где обычное содержание составляет 0,03%. В зависимости от пути прохождения фотосинтеза растением, связывание CO_2 может начинаться с 0,0005-0,005%, пропорциональное возрастание до 0,1-1,5%, а торможение при 1-20%.

Влияние степени открытости устьиц на интенсивность процесса фотосинтеза. Устьицы – это поры, через которые происходит испарение воды и газообмен с окружающей средой. Если содержание воды в листе поддерживается на достаточном уровне, увеличение ширины устьичных щелей сопровождается увеличением поглощения углекислого газа и, как следствие, повышением интенсивности фотосинтеза. При полном закрытии устьиц фотосинтез может протекать, но в очень слабой степени.

Влияние снабжения водой на интенсивность процесса фотосинтеза. Хоть вода и является прямым участником процесса фотосинтеза, её количество, необходимое для образования углеводов, пренебрежимо мало по сравнению с нужным для поддержания внутреннего давления. Наиболее интенсивно процесс фотосинтеза проходит при водном дефиците в 5-15%. Отчасти это может объясняться сдавливанием и неполным открытием устьичных щелей. Но большинство учёных склонно полагать, что работа ферментов эволюционно приспособлена к небольшому водному дефициту. Значительный же водный дефицит полностью объясняется закрытием

устьиц. Следует отметить, что при длительном обезвоживании интенсивность фотосинтеза не восстанавливается даже после возобновления подачи воды.

Влияние минерального питания на интенсивность процесса фотосинтеза. Все минеральные компоненты питания оказывают влияние на интенсивность фотосинтеза. Но существует ряд компонентов, играющих особую роль. К ним относят фосфор (его соединения принимают участие во всех стадиях фотосинтеза), магний (его присутствие обязательно для процессов фосфорилирования), калий (активирует фосфорилирование и косвенно увеличивает открытие устьиц), марганец (его отсутствие угнетает световую реакцию Хилла). Также важны соединения, функционирующие как переносчики (основываются на железе или на меди) [2]. Очевидно, что недостаток этих и других элементов снижает интенсивность фотосинтеза.

Влияние температуры на интенсивность процесса фотосинтеза. Влияние температуры окружающей среды на процесс фотосинтеза является функцией освещения. Так, при низкой освещенности фотосинтез не зависит от температуры, что связано с тем, что при недостаточной освещенности интенсивность процесса фотосинтеза ограничивается скоростью световых реакций. При избыточной освещенности происходит обратная ситуация: скорость фотосинтеза определяется темновыми реакциями. Понижение температуры может влиять на фотосинтез как прямо (уменьшить активность ферментов, участвующих в темновых реакциях), так и косвенно (физическое повреждение органелл). Повышение температуры, как уже упоминалось, увеличивает скорость темновых реакций фотосинтеза и вызывает закрытие устьичных щелей. Ещё повышенная температура увеличивает интенсивность дыхания растений, что снижает видимый фотосинтез.

Влияние возраста листа на интенсивность процесса фотосинтеза. Максимум интенсивности фотосинтеза приходится на фазу цветения – для почти сформировавшихся листьев. По мере старения листьев интенсивность процесса падает. Интересно, что на процесс фотосинтеза влияет не только

непосредственный возраст листа, но и общий всего растения. Листья одного возраста, но сформировавшиеся на более старом растении, имеют пониженную интенсивность фотосинтеза по сравнению с более молодым растением [3].

1.4 Оптические параметры и характеристики листьев и плодов растений

1.4.1 Спектры отражения листьев и плодов растений

Исследовать состояние растения возможно по спектру отражения. На рис. 7 приведена спектральная отражательная способность здоровых и повреждённых листьев сахарной свёклы. В видимой части спектра излучения здоровые листья имеют значительно меньшую отражательную способность чем повреждённые, а в ближней ИК-области (>700 мкм) их отражательные свойства резко возрастают и становятся значительно выше, чем свойства повреждённой листы.

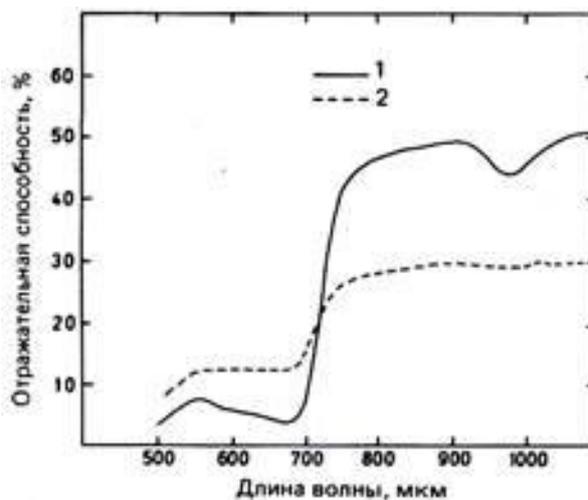


Рис. 7. Спектральная отражательная способность здоровых и повреждённых листьев сахарной свёклы. 1 – здоровые; 2 – повреждённые [7]

Однако, установить общую закономерность без эталонов невозможно: так, в некоторых случаях при стрессе растения спектр отражения в ИК-области может быть выше.

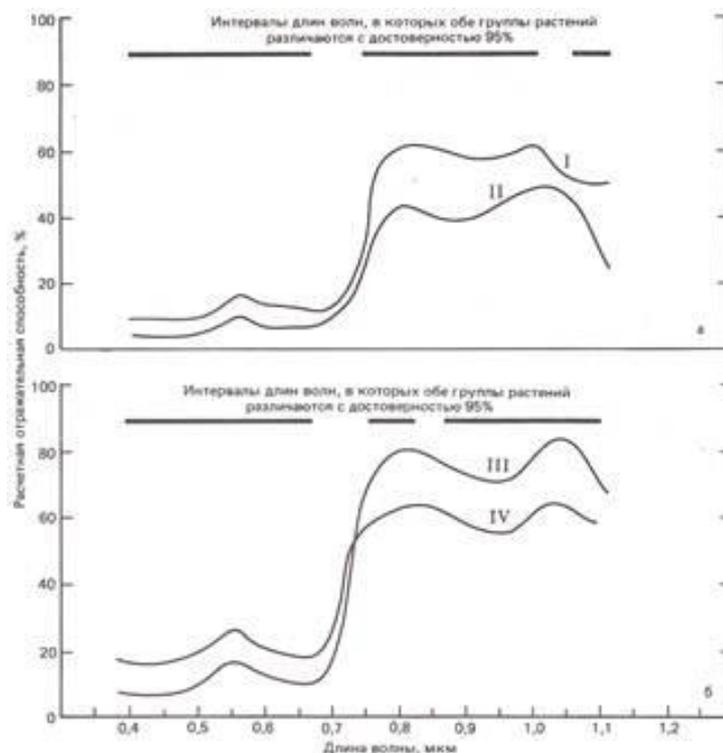


Рис. 8. Различия в отражательной способности красной и бальзамовой сосны на почвах с нормальным и повышенным содержанием металлов. а – бальзамовая сосна, б – красная сосна; I, IV – аномальная группа; II, III – контрольная группа [7]

Помимо всего прочего, отражательная способность листьев изменяется с возрастом. Молодые листья сильнее отражают в видимой области, а зрелые – в ближнем ИК-диапазоне.

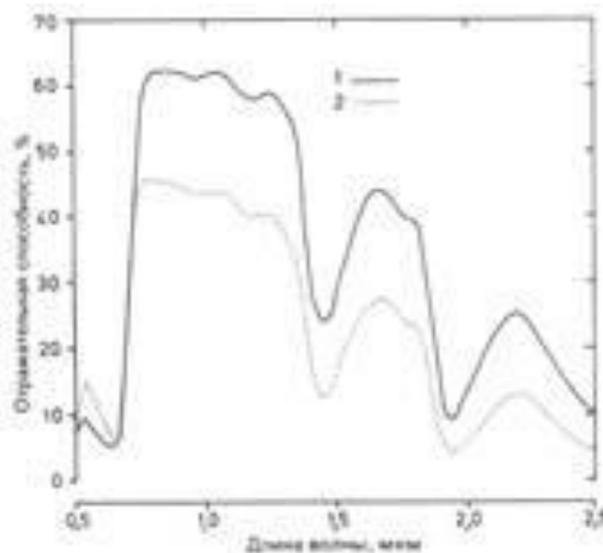


Рис. 9. Различие в спектральной отражательной способности зрелых (1) и молодых (2) листьев [7]

Также, спектральные характеристики многих растений изменяются в течение периода вегетации.

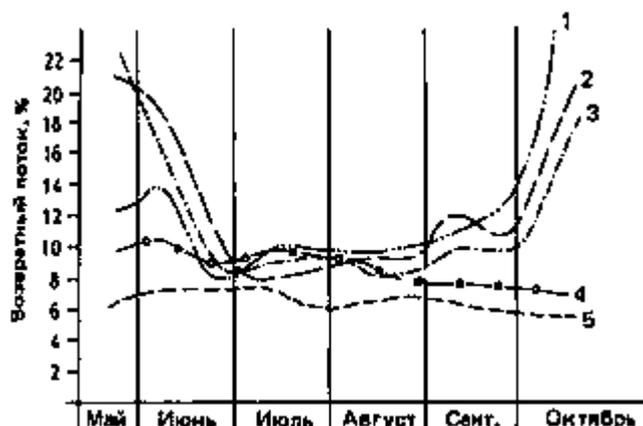


Рис. 10. Изменения отражательной способности различных деревьев в течение вегетационного периода. 1 – осина; 2 – дуб; 3 – бук; 4 – сосна обыкновенная; 5-сосна кедровая [7]

Проблемой измерения спектра отражения является тот факт, что лист является мутной светорассеивающей средой, что очень осложняет измерение лучистой энергии, которая пропускается, отражается и поглощается им. Существуют методы работы с такого рода средами.

Один из самых простых методов, позволяющих получить быстрый результат – модель Кубелки-Мунка. Приближение Кубелки-Мунка основано на представлении поля излучения внутри образца как суммы двух световых потоков, распространяющихся в противоположных направлениях. Функцию Кубелки-Мунка можно применять для фотометрического анализа аналогично закону Ламберта-Бера [9]. Многие уравнения, выведенные другими авторами, являются частными случаями. Однако, у этой модели есть ряд недостатков: неприменимость к средам с высокой анизотропией, зависимость от длины волны, сложность учёта преломляющих границ. Для исключения зеркального отражения в этой модели исследуемый объект помещают между скрещенными поляризационными плёнками. Линейно-поляризованный свет, отражаясь, сохраняет поляризацию и гасится анализатором, скрещенным с

поляризатором. Диффузный свет частично изменяет поляризацию и будет пропущен.

Теория переноса излучения (ТПИ). В этом приближении лучевая интенсивность излучения, распространяющегося в рассеивающей среде, может быть представлена, как сумма ослабленной падающей компоненты и диффузной компоненты. Согласно диффузному приближению (представлению диффузной интенсивности света как сумму интегральной интенсивности излучения внутри среды и светового потока диффузного излучения), диффузная интенсивность формируется в результате взаимодействия падающего излучения со значительным количеством рассеивающих частиц среды, и её угловое распределение лишь немного отличается от изотропного. При этом ТПИ предполагает, что ближнее ИК-излучение рассеивается анизотропно. Ограниченность диффузного излучения состоит в предположении, что коэффициент поглощения много меньше коэффициента рассеяния, что не всегда может быть справедливо [10].

Измерения с использованием интегрирующей сферы. Известно, что освещение образца коллимированным пучком приводит к меньшим погрешностям в определении диффузного отражения образца, чем освещение его диффузно падающим светом. Применение интегрирующей сферы позволяет определять пропускную и отражающую способность листа, не отделяя его от растения. Это дает возможность делать систематические наблюдения, которые показывают, что оптические свойства листа значительно меняются с его возрастом [9].

Что касается изменения оптических свойств листьев в течение дня, то результаты многих исследований показывают наличие зависимости в дневном пропускании и отражении лучистой энергии как в естественных

условиях, так и при искусственном облучении. Так, явление изменчивости пропускания излучения в течение дня наблюдалось при постоянстве облучённости и спектрального состава излучения, а также других факторов внешней среды. Объектом исследований были листья огурцов, томатов и фасоли, находившихся под люминесцентными лампами. Измерения проводили каждые 30 мин – с 5 ч 30 мин до 19 ч 30 мин. При постоянном облучении разница между максимумом и минимумом достигала 10-12%, а при прерывистом (7,5 с облучение и 7,5 с темнота) – 5-6%, т. е. изменчивость имела более сглаженный характер [11]. В данном случае процесс зависел не только от внешних воздействий, но, по-видимому, определялся естественной сменой состояния возбуждения и торможения.

1.4.2 Спектры поглощения пигментами

Основным пигментом растительности является, конечно, хлорофилл. Основным интерес к его изучению связан с поглощением этим пигментом солнечной энергии и осуществление фотосинтеза. Фотосинтез, в свою очередь, является основным процессом, обеспечивающим образование органических соединений и освобождение молекулярного кислорода на планете. Именно хлорофилл придаёт растительности зелёный цвет – у данного пигмента отсутствует поглощение в этой области. Однако, данный пигмент не является химически индивидуальным веществом. На самом деле большинство растений содержит два соединения: хлорофилл а, имеющий сине-зелёную окраску, и хлорофилл b, чей спектр отражения лежит в жёлто-зелёной области. Соотношение этих двух веществ и будет определять конечный окрас живого листа и некоторые его особенности. Так, хлорофиллы а и b отличаются не только окрасом, но и степенью окисления.

Но в природе встречаются растения с листьями непривычных цветов: красного, фиолетового, лилового, причём так же различных оттенков. Необычный цвет объясняется наличием других пигментов.

Для всех растений можно выделить 4 основных группы пигментов. Это хлорофилл (а и b), каротин и ксантофилл. Каждая группа содержит в себе различные пигменты. Так, например, каротиноидов, отвечающих за оттенки красного, жёлтого и оранжевого цветов, уже обнаружено более трёхсот. Но не все из них способны принимать участие в фотосинтезе. Большинство из них являются вспомогательным веществом. За их счёт растение более полно использует видимую часть спектра. Поглощённую энергию (до 20% всей солнечной энергии, поглощённой листом) каротиноиды передают хлорофиллу. Но у каротиноидов есть ещё одна специфическая роль. Дело в том, что хлоропласты могут перемещаться по клетке только при воздействии синих лучей, которые поглощаются каротиноидами. Некоторые вещества из класса каротиноидов способны выступить транспортным средством – переносить активный кислород. По этому признаку каротиноиды подразделяются на бескислородные каротины и кислородосодержащие ксантофиллы.

Ксантофиллы являются производными элементами каротиноидов. Их жёлтый оттенок связан с содержанием кислорода. Пожелтение листьев осенью связано как раз с этими пигментами [12].

Классический спектр поглощения пигментов листа приведён на рис. 11. Некоторые колебания могут вызываться активностью молекул. Описание данного спектра приведено далее.

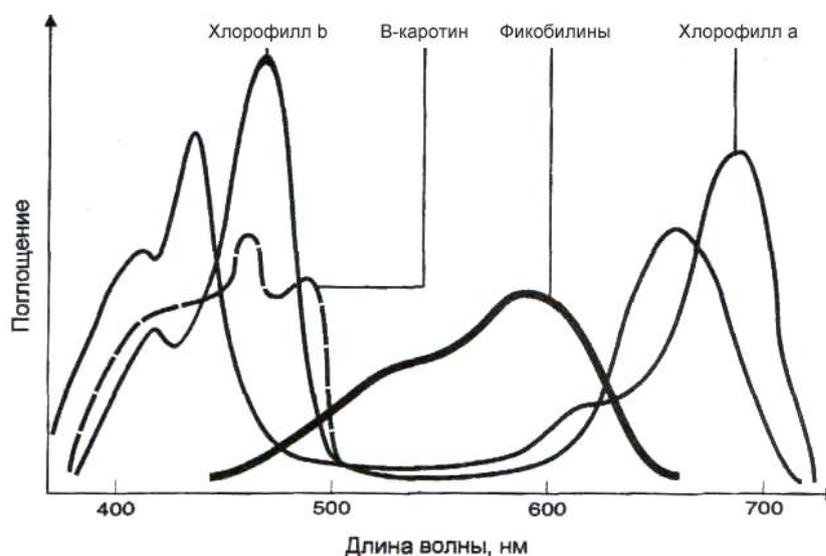


Рис. 11. Спектр поглощения пигментов [12]

Хлорофиллы а и b имеют ярко выраженные максимумы в красной и сине-фиолетовой области спектра. Приблизительное положение этих максимумов 660/640 и 430/450, соответственно. Область поглощения хлорофилла приходится на 400-750 нм, её называют фотосинтетически активной областью спектра. Не исключено, что эта область появилась не случайно, а в результате эволюционного механизма: данный диапазон хорошо коррелирует со спектром излучения Солнца [13].

Следует отметить, что в живом зелёном листе спектр поглощения хлорофиллов будет шире и более выровнен.

1.5 Методы и аппаратура для измерения оптических параметров и характеристик листьев и плодов растений и контролируемые с их помощью процессы

Рассмотрим существующие аналоги, приборы для измерения оптических параметров и характеристик растений, чтобы выявить сильные и слабые стороны исследуемого метода. Внешний вид некоторых приборов представлен на рисунке 15.

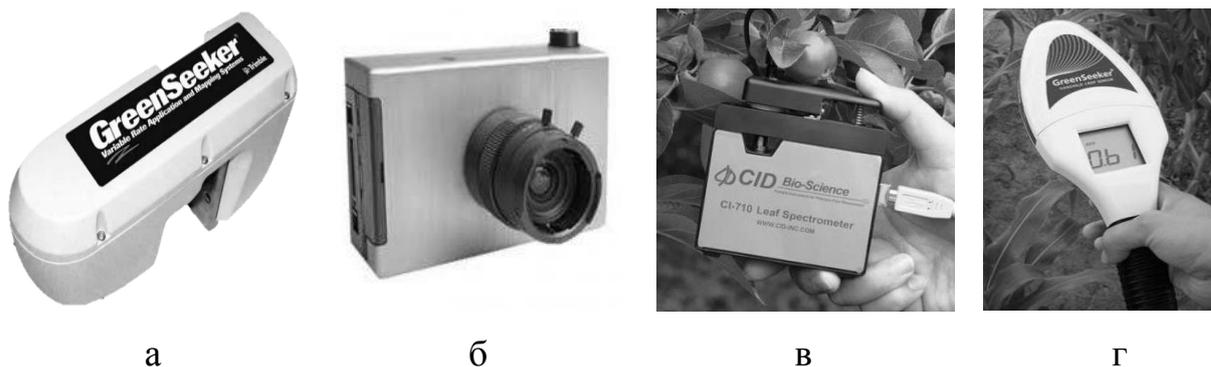


Рис.15. Внешний вид приборов: а - Greenseeker RT200, б - Мультиспектральная камера, в - Leaf Спектрометр CI-710, г - Ручной датчик урожайности GreenSeeker

Greenseeker RT200. В основе работы системы лежит свойство хлорофилла поглощать красный свет и отражать его в ближнем ИК-диапазоне. Сенсорный датчик представляет собой активный источник света, работающий в режиме реального времени. После включения оптическая система излучает свет на двух длинах волн и затем измеряет отражённый от растений свет. Микропроцессор в датчике анализирует его и на выходе получает индекс NDVI. Значение индекса показывает количество и мощность растительного вещества в полосе захвата системы. Внешний вид прибора представлен на рисунке 15а [14].

Мультиспектральные камеры «Tetracam». Мультиспектральные камеры устанавливаются на беспилотные спектральные аппараты. Программное обеспечение для обработки изображений «PixelWrench2», поставляющееся с каждой камерой, позволяет вычислять стандартные вегетационные индексы на основе полученных изображений (нормализованный относительный индекс растительности, почвенный вегетационный индекс, исследование растительного покрова, соотношение ближней инфракрасной/зеленой области спектра). Назначение камер в целом совпадает – мониторинг растительных и лесных покровов, однако камеры

отличаются техническими характеристиками. Внешний вид камеры представлен на рисунке 15б [15].

LaserLeaf CI-202. CI-202 используется для выполнения неразрушающих измерений на листьях живых растений, помещая лист на палитре и сдвигая сканер над листом, что позволяет собирать информацию о геометрических параметрах листа, факторе формы.

Миниатюрный Leaf Спектрометр CI-710. Спектрометр предназначен для измерения пропускания, поглощения и отражения света биологических веществ в широком диапазоне длин волн, которые охватывают и видимой ближней инфракрасной области спектра (NIR) свет. Измерения пропускания и спектр поглощения являются наиболее распространенными применениями спектрометров. Спектр может быть использован для количественного определения химических концентраций, цвет анализа, исследование фотохимических реакций, таких как фотосинтез, и квантификации физических или оптических свойств, таких как толщина пленки, показатель преломления и коэффициент экстинкции. Внешний вид спектрометра представлен на рисунке 15в [16].

N-тестер Dualex Scientific+. N-тестер Dualex Scientific+ представляет собой прибор с датчиком - листовым зажимом – предназначенный для измерения количества хлорофилла и флавонолов в эпидерме листьев различных растений. Прибор способен проводить анализ любого вида растений в реальном времени вне зависимости от температуры и освещенности. Таким образом, с помощью N-тестера можно проводить научные исследования как в лабораториях и оранжереях, так и в садах и полях. Прибор безопасен для растений (не повреждает их) и прост в применении (не нужна предварительная калибровка, данные рассчитываются автоматически и сохраняются) [17].

Измеритель CL-01. Измеритель CL-01 предназначен для определения относительного содержания хлорофилла в образце листа. Определение происходит с помощью измерения оптического поглощения из образцов листьев для двух длин волн (620 и 940 нм). Относительное содержание хлорофилла отображается на дисплее и сохраняется в диапазоне от 0 до 2000 единиц. Калибровка прибора происходит автоматически и измерения проводятся с температурной компенсацией между двумя измерениями. Основные преимущества прибора – простота, портативность, низкая стоимость [18].

Ручной датчик урожайности GreenSeeker (N-tester). Ручной датчик азота GreenSeeker (N-tester) необходим для определения потребности растения в азоте и для контроля общего здоровья растения. Прибор использует красные и инфракрасные лучи света, которые излучаются прибором, отражаются от листьев и возвращаются в улавливающий датчик прибора. Далее используется метод исчисления NDVI и для данного растения на экран выводится индекс NDVI (от 0.00 до 0.99), который и помогает определить нужные параметры. Основные особенности прибора – простота и портативность. Внешний вид прибора представлен на рисунке 15г [14].

Проведя анализ вышеуказанных и других аналогов, можно сделать выводы, что большинство существующих приборов дороги и неудобны при полевой работе. Они больше годятся для лабораторных исследований. Редкие экземпляры, адаптированные под полевые условия по-прежнему имеют высокую стоимость, а также ограниченный функционал. По сравнению с представленными аналогами исследуемый метод обладает значительным преимуществом, которое заключается в доступности, низкой стоимости и возможности быстрой оценки состояния растения.

2. Аналитическая часть

2.1 Сравнительный анализ методов определения скорости процессов фотосинтеза

Количество хлорофилла напрямую связано с биомассой растения. Введём понятие индекса листовой поверхности. Индекс листовой поверхности – это выраженная в сантиметрах квадратная площадь освещённых листьев на каждый квадратный сантиметр поверхности почвы. Листовые индексы можно считать мерой фотосинтезирующей биомассы. С ростом индекса будет увеличиваться полнота использования световой энергии, что особенно важно при использовании искусственного освещения. В зависимости от типа растительного сообщества листовой индекс может варьироваться в широких пределах. Так, для хвойных лесов средним значением индекса считается 28, в то время как в степях всего 2,5. Для сельскохозяйственной деятельности оптимальным значением считается 4. В том случае, если листовой индекс менее 4 происходит нагрев земли, что может приводить к опасным для растения факторам: пересушиванию почвы, гибели полезных микроорганизмов, отражению тепла и нагреву нижних листьев растения. Последний фактор, как уже упоминалось, может приводить к снижению интенсивности фотосинтеза [19].

Измеряя содержание хлорофилла, можно определять показатель фотосинтетической активности, исходя из которого, по приведённым в литературном обзоре закономерностям, оценивать общее состояние растения. Несмотря на то, что данная методика позволит находить оптимальные уровни досветки в сроки, значительно меньшие, чем период вегетации, происходит это не мгновенно. Дело в том, что по спектрам отражения и поглощения фиксируются конечные продукты фотосинтеза (в том числе пигменты), для установления которых необходимо время. Таким образом,

предложенный метод не является экспрессным, но он необходим для оценки общего состояния растения в любой из периодов вегетации.

К более быстрым методам можно отнести люминесцентный анализ, который, как постулировано, позволяет быстро и точно определить содержание хлорофилла. «Соотношение между флуоресценцией хлорофилла при 735 нм и в диапазоне длин волн от 700 нм до 710 нм, линейно связано с содержанием хлорофилла (с коэффициентом детерминации более чем 0,95) и таким образом может быть использовано как точный показатель содержания хлорофилла в листьях растений.»[20]

Тем не менее, отвергать анализ спектров нельзя. Он даёт возможность изучить более тонкие процессы в фотосинтетическом аппарате растений, как, например, процесс переноса возбуждающей энергии, что, в конечном счёте, позволит определять общий избыток либо недостаточность падающего излучения. [21]

2.2 Сравнительный анализ методов определения скорости процессов фотосинтеза

2.2.1 Индексы вегетации, их связь с другими параметрами развития растений

Вегетационный индекс (ВИ) - показатель, используемый для изучения и оценки состояния растительности. Вегетационные индексы рассчитываются в результате операций с различными спектральными каналами (диапазонами) данных дистанционного зондирования и имеют отношение к параметрам растительности в каждом пикселе снимка. Эффективность показателя определяют особенности отражения. В основном, индексы выведены эмпирически.

К сегодняшнему дню насчитывается уже около 160 разнообразных вариантов вегетационных индексов. Они подбираются с помощью

экспериментов (эмпирическим путем) на основе известных особенностей кривых спектральной отражательной способности почв и растительности.

Для расчёта большинства вегетационных индексов используют два самых стабильных участка кривой спектральной отражательной способности растений. Первый участок - 0,62-0,75 мкм - красная зона спектра, на которую приходится максимальное поглощение солнечной радиации хлорофиллом; второй стабильный участок - 0,75-1,3 мкм - ближняя инфракрасная зона – зона с максимальным отражением энергии клеточной структурой листа. Таким образом, большое количество фитомассы неизбежно приводит к низким значениям коэффициента отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней ИК-области, что и позволяет с достаточной точностью отделять растительность от остальных природных объектов.

Broadband Greenness (5 индексов) – группа индексов, которые выражают общее количество растительности. Они суммируют и отражают влияние следующих факторов: содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Главное назначение индексов этой группы – картирование растительного покрова, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, выявление площадей покрытых и непокрытых растительностью, оценка продуктивности и урожайности.

Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}};$$

Simple Ratio Index

$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}};$$

Enhanced Vegetation Index

$$EVI = 2.5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1} \right);$$

Atmospherically Resistant Vegetation Index

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}{\rho_{NIR} + (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})};$$

Sum Green Index

$$SGI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} - \rho_{BLUE}}.$$

Narrowband Greenness (6 индексов) – группа индексов, отражающие состояние и общее количество растительности. Отличие от остальных индексов в том, что в расчёте этих индексов используют значения коэффициентов отражения на меньшем участке спектра (от 0,69 до 0,75 мкм).

В итоге, используя значения коэффициентов отражения в узких спектральных зонах, можно с помощью индексов определять даже малые изменения состояния растительности. Индексы данной группы могут быть рассчитаны только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам.

Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}};$$

Modified Red Edge Simple Ratio Index

$$mSR_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{445}}{\rho_{705} + \rho_{445}};$$

Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705} - 2\rho_{445}};$$

Vogelmann Red Edge Index 1

$$VOG1 = \frac{\rho_{740}}{\rho_{720}};$$

Vogelmann Red Edge Index 2

$$VOG2 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{726}};$$

Vogelmann Red Edge Index 3

$$VOG3 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{720}}$$

Light Use Efficiency (3 индекса) – группа индексов, которые отражают эффективность использования растительностью поступающего света для фотосинтеза. Оценка общей эффективности использования света с помощью вегетационных индексов учитывает соотношение между разными типами пигментов. ВИ помогают дать оценку росту и продуктивности растений, что необходимо для решения сельскохозяйственных задач.

Photochemical Reflectance Index

$$PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}};$$

Structure Insensitive Pigment Index

$$SIPi = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} + \rho_{680}};$$

Red Green Ratio Index

$$RGI = \frac{\rho_{GREEN}}{\rho_{RED}}$$

Canopy Nitrogen (1 индекс). Этот индекс разработан для оценки концентрации азота в растительном покрове. Азот входит в состав многих органических соединений, в том числе белков и хлорофилла. Высокие концентрации элемента наблюдаются, главным образом, в быстрорастущей растительности. При недостатке азота листья становятся бледно-зелеными, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При большом количестве азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, задерживается цветение.

Normalized Difference Nitrogen Index

$$NDNI = \frac{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) - \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) + \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}$$

Dry or Senescent Carbon (3 индекса) - группа индексов, используемых для анализа общего количества «сухого» углерода (в виде целлюлозы и лигнина). Такой углерод в значительных количествах находится в древесине, а также в мертвом или сухом растительном покрове. Именно эти показатели при увеличении отражают процесс «старения» и отмирания растений. Индексы этой группы часто используют при оценке пожаропасности на территории.

Normalized Difference Lignin Index

$$\text{NDLI} = \frac{\log\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) - \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\log\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) + \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)};$$

Cellulose Absorption Index

$$\text{CAI} = 0.5(\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100};$$

Plant Senescence Reflectance Index

$$\text{PSRI} = \frac{\rho_{680} - \rho_{500}}{\rho_{750}}.$$

Leaf Pigments (4 индекса) – группа индексов, определяющих стрессовое состояние растительности. Фактически, ВИ оценивают пигменты, которые характерны для растений в состоянии стресса. К ним относятся каротиноиды и антоцианины, которые можно наблюдать в больших количествах у угнетенной растительности. Часто с помощью индексов состояние стресса растительности обнаруживается еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом».

Carotenoid Reflectance Index 1

$$\text{CRI1} = \left(\frac{1}{\rho_{510}}\right) - \left(\frac{1}{\rho_{550}}\right);$$

Carotenoid Reflectance Index 2

$$\text{CRI2} = \left(\frac{1}{\rho_{510}}\right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}}\right);$$

Anthocyanin Reflectance Index 1

$$ARI1 = \left(\frac{1}{\rho_{550}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}} \right);$$

Anthocyanin Reflectance Index 2

$$ARI2 = \rho_{800} \left(\frac{1}{\rho_{550}} - \frac{1}{\rho_{700}} \right).$$

Canopy Water Content (4 индекса) - группа индексов, разработанных для анализа содержания воды в растительном покрове. Содержание воды – один из самых важных показателей для оценки состояния растений; для здоровой растительности, которая быстро растет и наиболее устойчива к пожарам, характерно высокое содержание влаги. Индексы широко используются для оценки пожаропасности на территории совместно с группой индексов Dry or Senescent Carbon.

Water Band Index

$$WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{970}};$$

Normalized Difference Water Index

$$NDVI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}};$$

Moisture Stress Index

$$MSI = \frac{\rho_{1599}}{\rho_{819}};$$

Normalized Difference Infrared Index

$$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}}.$$

Самый распространенный в использовании вегетационный индекс - **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** – нормализованный разностный индекс растительности. NDVI – это простой показатель, который отражает количество фотосинтетически активной биомассы. Для

растительности этот индекс принимает положительные значения тем выше, чем больше количество зелёной фитомассы. Также на значение индекса влияют следующие факторы: видовой состав растительности, ее состояние и сомкнутость, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс NDVI умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона за исключением случаев, когда густота растительности ниже 30%. Для зелёной растительности индекс обычно имеет значение от 0,2 до 0,8.

Алгоритм расчета NDVI присутствует едва ли не во всех распространенных пакетах программного обеспечения, связанных с обработкой данных дистанционного зондирования.

Недостатки использования NDVI-индекса:

- Необходимость проведения калибровки, без которой невозможно использовать данные;
- Погрешности из-за погодных условий;
- Необходимость сравнения полученных результатов с данными тестовых эталонных участков, которые учитывают сезонные эколого-климатические показатели на момент сбора данных;
- Ограниченность использования съемки временем сезона вегетации. Так как NDVI привязан к количеству фотосинтезирующей биомассы, он не эффективен на снимках полученных в сезон ослабленной или невегетирующей растительности. [22]

Необходимо заметить, что ни один вегетационный индекс не дает абсолютных значений исследуемых свойств. Их количественные показатели находятся в зависимости от характеристик сенсора (таких как ширина спектральных каналов, разрешения), освещенности, условий съемки, состояния атмосферы. Вегетационные индексы дают лишь относительные оценки характеристик растительности, которые, впрочем, могут быть интерпретированы и пересчитаны в абсолютные с помощью полевых данных.

Terra и Aqua – спутники программы Earth Observation System (EOS) – содержат в составе бортового оборудования спектрорадиометр MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), который проводит съемку в тридцати шести спектральных каналах. Эти каналы охватывают диапазон с длинами волн от 0.4 до 14.4 мкм. Съемка в канале красного и канале ближнего инфракрасного спектров ведется с пространственным разрешением 250 м, в 5 каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазона с разрешением 500 м, в остальных каналах – 1000 м.

Информация MODIS передается на наземные станции непрерывно и бесплатно. Готовность данных – в течение часа после приема. Временное разрешение – 4 раза в сутки, ширина обзора – 2300 км.

Снимки MODIS попадают в открытый доступ в интернет-архиве National Aeronautics and Space Administration (NASA). Архив содержит снимки с 2005 г. Обновление архива с добавлением снимков за текущую дату происходит ежедневно.

2.2.2 Спектры поглощения и отражения

Спектр листа, как уже упоминалось, не является точной копией спектра пигментов. Отчасти это связано с макросостоянием: спектры пигментов обычно измеряются для спиртовых растворов предварительно отделённых пигментов. Разделять вытяжку для этих исследований можно химическим и коллоидным методами [23]. С другой стороны в живом листе спектр пигментов в значительной степени «разбавлен» другими веществами, в основном органическими молекулами – промежуточными и конечными результатами фотосинтеза.

Между собой разные растения имеют схожие спектры. Форма спектра по-прежнему определяется пигментами. Но в зависимости от типажа и некоторых особенностей, может несколько изменяться. Также, значительные изменения могут вызываться неблагоприятными условиями среды.

Разобрать, какие именно изменения будут происходить, предстоит в продолжение этой работы. Среди наиболее общих можно указать резкое падение отражения в ИК-области при недостаточном снабжении водой [24]. Дело в том, что отражение в этой области в основном и определяется водой. На этом основан ряд индексов вегетации: многие из них включают в себя отражение в инфракрасной области спектра как некие узкие линии, так и широкие полосы.

На экспериментальной установке, собранной на основе оборудования фирмы Avantes также были измерены спектры нескольких растений. Это проводилось для обеспечения основной цели работы – обоснования допустимости использования имеющихся на кафедре установок. Но тот факт, что спектры совпали как раз и доказывает применимость использованного оборудования.

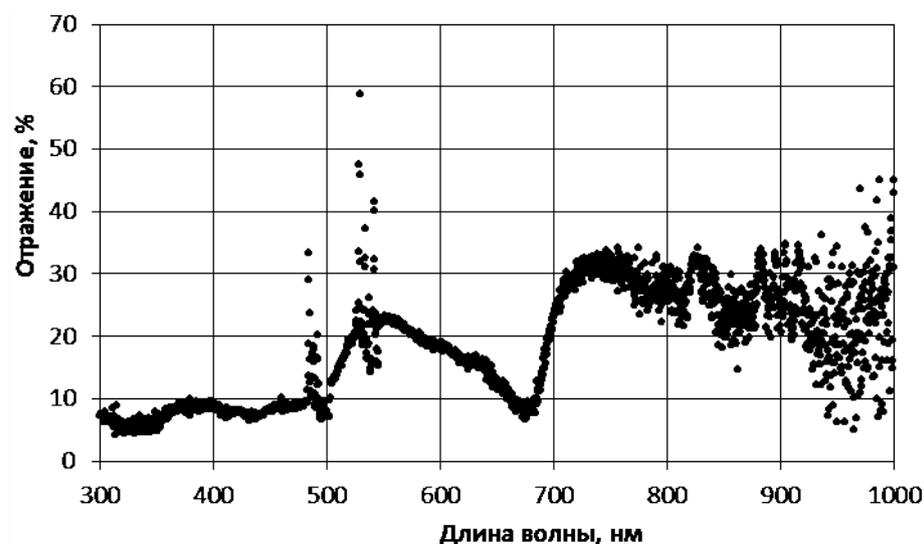


Рис. 16. Экспериментальные данные. Спектр отражения листа салата

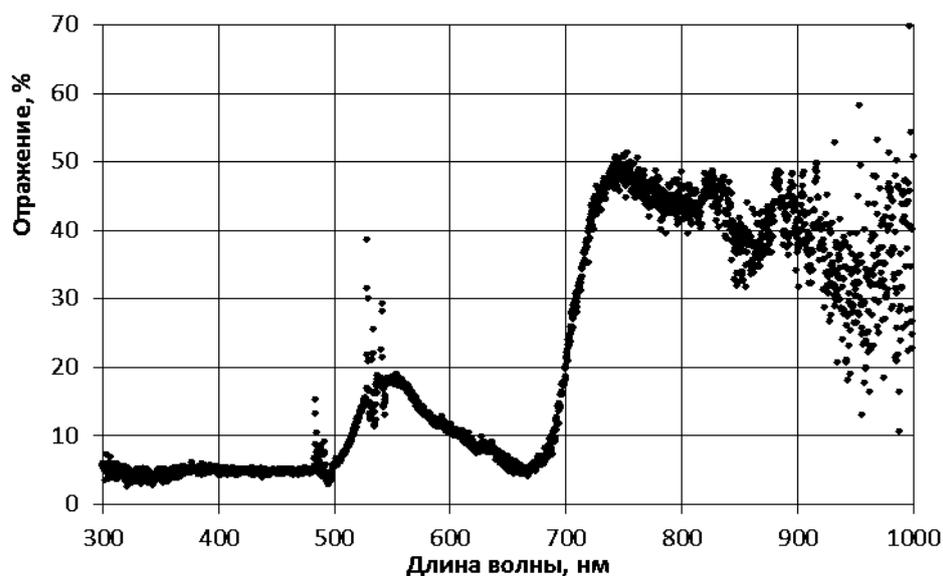


Рис. 17. Экспериментальные данные. Спектр отражения листа базилика

На приведённых графиках чётко различаются выбросы в области 480 и 530 нм. В первую очередь можно подумать, что выбросы связаны с люминесценцией хлорофилла – излучение просто попало на резонансные частоты. Однако хлорофилл люминесцирует в более длинноволновой области спектра. На самом деле данные значения объясняются спектром лампы. Для получения спектра отражения берётся не паспортный спектр лампы, а отражённый от идеализированного рассеивателя, где уже и наблюдаются данные скачки. Избавиться от них можно вычитанием, как и от всякой систематической погрешности, либо усовершенствованием согласования пары источник-приёмник. Измеренный спектр импульсной ксеноновой лампы приведён на рис. 18

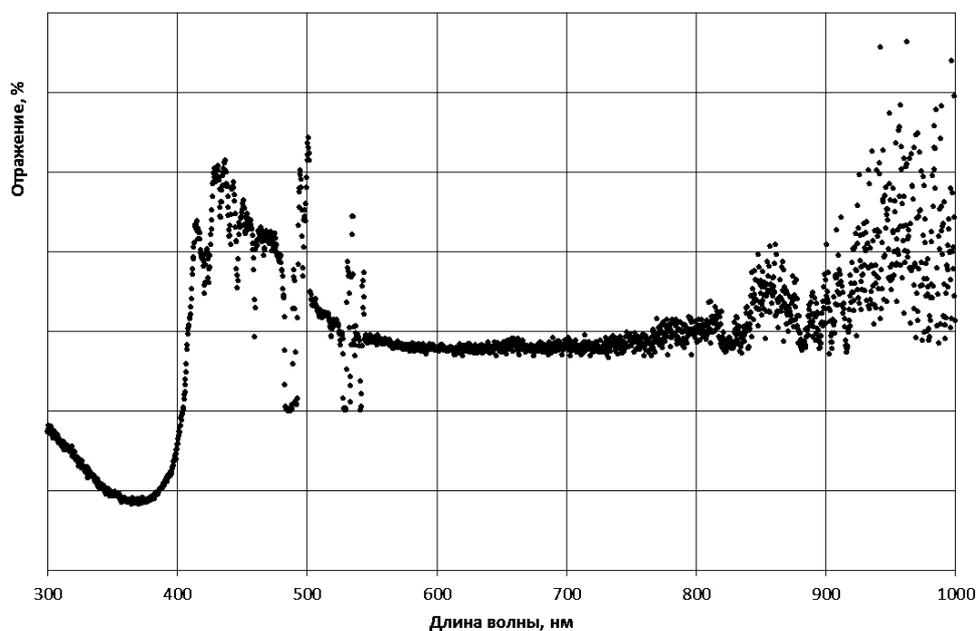


Рис. 18. Экспериментальные данные. Спектр импульсной ксеноновой лампы

Для проведения измерений отражения необходимо учитывать индикатрису рассеяния. Поверхность растительных культур представляет интерес тем, что имеет антизеркальное отражение. Максимум отражения будет приходиться в направлении к источнику излучения [25]. Такого рода индикатрису можно аппроксимировать комбинацией полусферы и части эллипсоида [26].

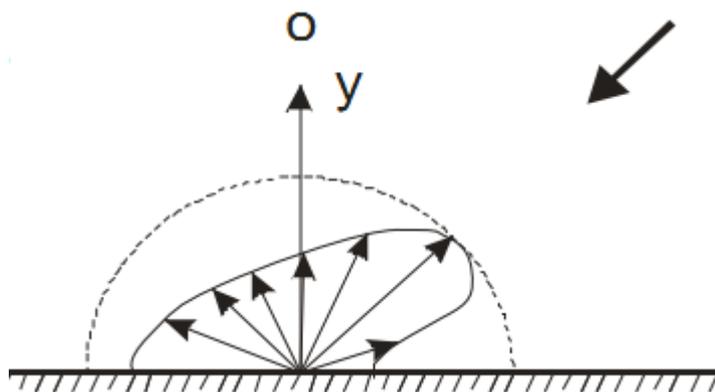


Рис. 19. Вид антизеркальной индикатрисы, свойственной растениям [25]

2.3 Методики измерения спектров поглощения и отражения в фитотроне на основе оптоволоконной спектрометрии

2.3.1 Схема измерения спектров отражения растений в фитотроне на основе оптоволоконных спектрометров

Будущая установка разрабатывается в первую очередь для собранных на кафедре фитотронов (рис. 20). В таком случае нужно учесть все особенности компоновки элементов. Так, принимающее волокно можно установить непосредственно сверху или сбоку в фитотроне и проводить измерения без выключения актиничного света. Исследуемое растение в первом приближении можно считать ламбертовым излучателем. Как уже упоминалось, растения имеют антизеркальную индикатрису рассеяния и могут описываться полусферой и частью эллипса [26]. Потому пороговые потоки для модели ламбертова излучателя могут оказаться даже ниже реальных. А значит, исследования можно будет проводить и при воздействии актиничного света. В таком случае будет необходимо осуществлять фильтрацию сигнала.



Рис. 20. Внешний вид исследовательского фитотрона

Наиболее подходящими методами эффективной фильтрации являются спектральная фильтрация, синхронное детектирование и импульсно-амплитудная модуляция (РАМ). Кратко рассмотрим все эти методы

— Спектральная фильтрация. Применение светофильтров. Данный метод не может быть реализован для определения большинства индексов вегетации. На рис. 21 приведён спектр излучения облучателя в фитотроне, который получается при использовании трёх типов светодиодов. Можно заметить, что спектров для индексов спектры отражения и спектры излучения облучательной установки перекрываются, а значит, данный способ фильтрации допустимо использовать только в отсутствие актиничного света, т.е. перед включением или после выключения основной подсветки.

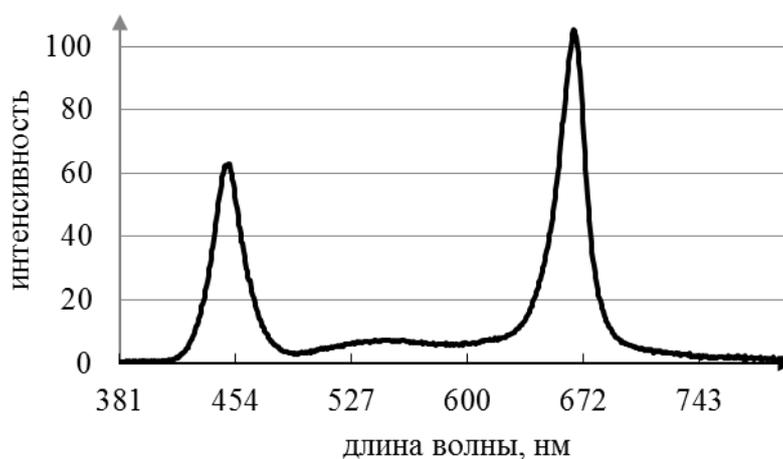


Рис. 21. Совокупный спектр диодов облучающей установки фитотрона

— Метод синхронного детектирования. Значительный недостаток данного метода – использование дополнительного оборудования. Так как главным преимуществом разрабатываемой методики является простота и дешевизна, использование синхронного детектора не годится для данной установки.

— Импульсно-амплитудная модуляция. Наиболее перспективный из рассмотренных методов. Основан на модуляции амплитуды измеряющего светового пучка (микросекундный диапазон импульсов) и синхронного

измерения отражённого сигнала. Это позволяет работать только на частоте модулированного падающего на растения потока излучения. Поскольку помехи и фоны имеют иной частотный спектр, то такой метод позволяет эффективно отфильтровать эти сигналы в электронном тракте измерительной системы.

Решить задачу методом РАМ позволяет оборудование фирмы Avantes. Дополнительные аппаратура и приспособления позволяют синхронизировать источник света и спектрометр. Используемое оборудование представлено в приложении А.

Общий вид схемы измерений представлен на рис. 22

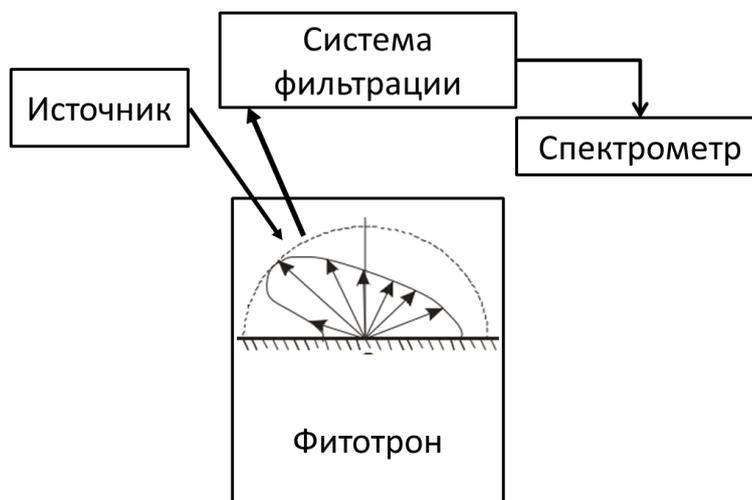


Рис. 22. Схема измерения, встроенная в фитотрон

2.3.2 Схема измерения спектров отражения листьев растений на основе оптоволоконных спектрометров

Существует другой метод измерения спектра растения – непосредственно с листа. Данный метод не требует отдельной фильтрации, но и показывает состояние конкретного листа, который может не совпадать со средним по растению.

Такой метод измерения можно применять стационарно, зажимая лист в специальном приспособлении.

Подобные измерения можно проводить используя специальное волокно, либо при помощи интегрирующей сферы. Схема измерений приведена на рис. 23. Всё оборудование, используемое в данном случае, представлено в приложении А.

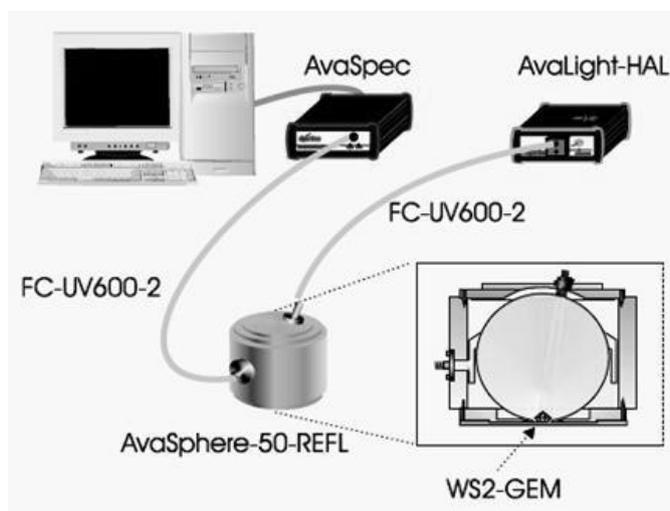


Рис. 23. Схема измерения спектра отдельного листа []

Требования, предъявляемые к опытному стенду:

- компактность для применения в фитотроне
- источник, перекрывающий весь спектр фотосинтетически активной радиации
- приёмник и все оптические элементы, работающие в этом диапазоне.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

3.1.1. 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 3.1.1.1. Карта сегментирования рынка

Размер компании	Тип посадок		
	Открытые поля	Тепличные хозяйства	Фитотроны
Крупные	Фирма А		
Средние	Фирма Б	Фирма Г	
Мелкие	Фирма В	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;
- выходить на рынок крупных компаний не представляется возможным ввиду неприспособленности методики.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Для оценки рынка необходимо провести детальный анализ конкурирующих разработок. Его удобно провести с помощью оценочной карты. Для этого сравним с конкурентной разработкой – спектрометром для растений фирмы Green Talk. Обозначим его как K_1 .

Таблица 3.1.2.1. Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{K1}	K_{ϕ}	K_{K1}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,11	4	5	0,44	0,55
2. Удобство в эксплуатации	0,04	5	3	0,2	0,12
3. Портативность	0,03	2	4	0,06	0,12
4. Надежность	0,06	5	3	0,3	0,18
5. Безопасность	0,07	4	4	0,28	0,28
6. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	2	0,25	0,1
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	3	4	0,09	0,12
8. Простота эксплуатации	0,1	4	2	0,4	0,2
9. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	2	4	0,08	0,16
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	2	0,25	0,1

Продолжение таблицы 3.1.2.1.

Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	5	0,16	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	1	5	0,02	0,1
3. Цена	0,1	4	1	0,4	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	4	1	0,8
5. Финансирование научной разработки	0,06	1	4	0,06	0,24
Итого	1			3,99	3,37

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

K – 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 её низкой стоимости, при этом потеря функционала незначительна.

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

3.1.3. 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. Для этого строятся интерактивные матрицы проекта, представленные в табл. 3.1.1.3 ниже.

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа, приведенной в табл. 3.1.3.2.

Таблица 4.1.3.1. Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны проекта							
		C1	C2	C3	C4		
Возможности проекта	B1	-	-	0	-		
	B2	+	-	0	-		
	B3	-	-	-	-		
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-		
	У2	-	-	+	-		
	У3	-	-	-	-		
	У4	-	-	-	-		
Слабые стороны проекта							
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
Возможности проекта	B1	-	-	-	-	+	+
	B2	-	-	-	-	-	-
	B3	-	-	+	+	-	-
Угрозы проекта	У1	-	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-	-
	У3	-	+	-	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-	-

Таблица 3.1.3.2. итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Дешевизна проекта. С2. Возможность экспресс-исследований. С3. Более широкий спектр применения. С4. Неразрушающий метод.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Технология является тестовым стендом. Сл2. Отсутствие бюджетного 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>Стать основным поставщиком фитоспектрометра для теплиц на отечественном рынке</p>	<p>Расширить рынок путём распространения информации; Предоставлять поддержку пользователям на всём периоде эксплуатации</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>Доработка проекта; Поддерживание конкурентоспособности путём широкого функционала и сравнительно малой стоимости</p>	<p>Перевести разработку на другой сегмент рынка</p>

3.2. 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.

3.2.1. 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. 3.2.1.1) представлен перечень этапов и работ в рамках проведения исследования с приведенными исполнителями по каждому виду работ.

Таблица 3.2.1.1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Выбор направления и согласование задания на ВКР	Руководитель
Анализ порученного задания	2	Знакомство с литературными данными	Бакалавры
	3	Изучение особенности реализации отдельных узлов	Бакалавры
	4	Анализ конкурентных решений	Бакалавры
	5	Составление плана работы	Бакалавры
	6	Утверждение перечня и календарного плана работ	Руководитель, 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	Руководитель, бакалавры
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

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

Длительность работы в календарных днях рассчитывается по формуле

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

где $k_{\text{кал}}$ — коэффициент календарности, равный 1,22.

Таблица 3.2.2.1. 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 и согласование задания	1	2	1,4	1,4	2
2	Знакомство с литературными данными	3	10	5,8	2,9	4
3	Изучение особенности реализации отдельных узлов	2	3	2,4	1,2	2
4	Анализ конкурентных решений	1	2	1,4	0,7	1
5	Составление плана работы	1	2	1,4	0,7	1
6	Утверждение перечня и календарного плана работ	2	3	2,4	0,8	1
7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	3	5	3,8	1,9	3
8	Подбор оборудования	2	3	2,4	1,2	2
9	Проверка реализации методики на имеющемся оборудовании	2	3	2,4	1,2	2
10	Оценка эффективности полученных результатов	1	3	1,8	0,6	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

3.2.3. 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:

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

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

$N_{расх\ i}$ – 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 4.2.3.1.

Таблица 3.2.3.1. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), 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:

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

где Ц – цена оборудования, р.;

$F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{сс}$ – срок службы оборудования, год;

F_{ϕ} – фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 3.2.3.2.

Таблица 3.2.3.2. 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	Компьютер	25 000	7	400	593
Итого:					702

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:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где T_p — продолжительность работ, выполняемых научно-техническим сотрудником, раб. дн;

$З_{дн}$ — 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, 10,4 ;

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

Таблица 3.2.3.3.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр 1	Бакалавр 2
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск			
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

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

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

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

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Таблица 4.2.3.4.

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	ППС 4	1	36 800	0,3	1,3	62 192	2576,9	3,73	9611,8
Бакалавр 1	ППС 1	1	9 983	0,3	1,3	16 871	699	21,03	14 699,9
Бакалавр 2	ППС 1	1	9 983	0,3	1,3	16 871	699	21,03	14 699,9
Итого $Z_{\text{осн}}$									39 011,8

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ — 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. 3.2.3.5.

Таблица 3.2.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	З _{внеб} , руб.
Руководитель	9611,8	2 604,78
Бакалавр 1	14 699,9	3 983,7
Бакалавр 2	14 699,9	3 983,7
		Итого 10 572,14

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов, в частности затраты на электроэнергию, потраченную в ходе работы. Здесь рассчитано затраченная электроэнергия:

Таблица 3.2.3.6. Затраты на электроэнергию

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность оборудования, Вт	Время занятости, ч.	Потреблённая электрическая мощность, кВт*ч	Затраты, руб.
1.	Avantes	65	6	0,39	2,3
2	Компьютер	3,6	400	1,44	8,4
					Итого: 10,6

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 3.2.3.7. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	639,8
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	702
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	39 011,8
4. Отчисления во внебюджетные фонды	10 572,14
5. Накладные расходы	10,6
6. Бюджет затрат НИИ	50 936,4

3.3. 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 — балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания/

Расчет данного показателя приведен в табл. 3.2.3.7 ниже.

Таблица 3.3.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	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 50936,34 рубля.

4. Социальная ответственность

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

Научно-исследовательская работа представляет собой разработку неразрушающей методики для оценки состояния живых растений. Данная методика позволит находить оптимальный режим досветки растений в экспресс-режиме. Потребителями методики могут стать как те, кто специализируется на выращивании растений, так и те, кто разрабатывает фитосветильники. В первую очередь работа ориентирована на разработку стенда для фитотрона, расположенного на кафедре. Работа выполнялась в лаборатории импульсной спектрометрии на кафедре лазерной и световой техники. К приборам, используемым в ходе работы относятся спектрометр Avantes и персональный компьютер.

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

4.1. Производственная безопасность

4.1.1 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 1.

Таблица 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 спектрофлюориметром) 2. Обработка измерений (работа с ЭВМ)	Недостаточная освещённость	Вредные	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому 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	Опасные	СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
	Поражение электрическим током		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 напряжённостью 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.

4.1.2 Освещённость.

Утомление органов зрения вызывается как недостаточной, так и чрезмерной освещённостью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещённость достигается за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, а при его недостаточности – за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света используются светодиодные лампы, которые по сравнению с люминесцентными лампами и лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ. К ним относят близкий к дневному, естественному спектр; более высокий КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД люминесцентных ламп); повышенная светоотдача (в 3-4 раза выше, чем у люминесцентных ламп); более длительный срок службы.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-0 освещённость рабочего стола должна составлять не менее 300÷500 лк, что может достигаться применением местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов (их яркость на экране не должна превышать 40 кд/м²).

4.1.3 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Средние показатели микроклимата в рабочей лаборатории: температура 22-25°С, 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 влечёт 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 объёма 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 открываемого оконного и дверного проёмов. 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 объём 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 счёт систем водяного отопления, а в тёплое время года – за счёт проветривания.

4.1.4 Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространённых 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 включённом состоянии). Уровень шума поднимается до 45дБА и колеблется не более чем на 5дБА. Согласно ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ уровень шума в подобных лабораториях не должен превышать 50дБА, колебания в режиме медленно не превышать 7дБА. Таким образом, рабочее помещение соответствует нормам по показанию шума.

4.1.5 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 тяжёлых профессиональных заболеваний, таких, как травма повторяющихся нагрузок (ТПН), представляющая собой постепенно накапливающиеся недомогания, переходящие в заболевания нервов, мышц и сухожилий руки.

4.1.6 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 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряжённость

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 в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, 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: напряжённость 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.

4.1.7 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 землёй 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 заземлёнными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электроприборов;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным 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.

4.2. 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.

4.3 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.

Распределение 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 обеспечить 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.

4.4 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

В результате проделанной исследовательской работы разработана методика измерения спектров растений, найдена их связь с процессом фотосинтеза, а значит, и с благополучием условий для роста и развития. Из имеющегося на кафедре оборудования выбрано то, на базе которого можно уже сейчас реализовывать методику. Таковым в данной работе является спектрометр Ava Spec фирмы Avantes и дополнения: программное обеспечение, источник света, различные насадки.

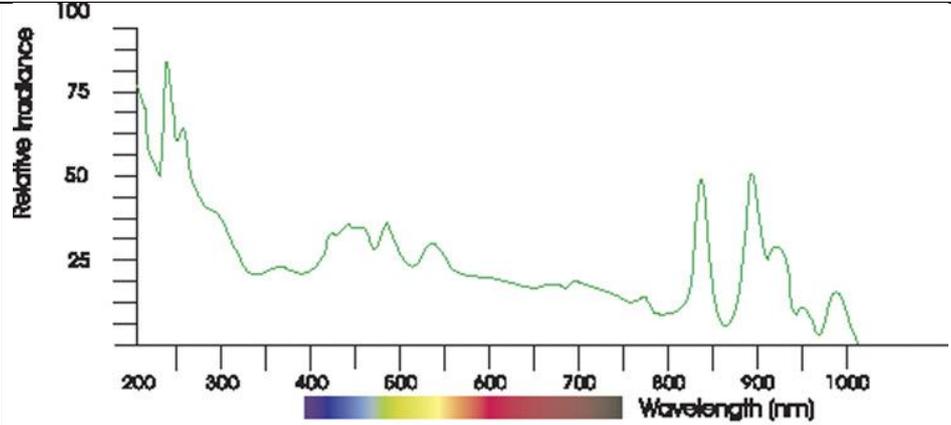
Разработанный метод позволяет достаточно быстро оценить общее состояние живого растения, обладает высокой чувствительностью и широким спектром применения. В результате чего возможны корректировки параметров окружающей среды под наиболее благоприятные для каждого растения в отдельности.

Результаты данной работы могут быть положены в основу создания экспериментальной установки для фитотронов. Также на её основе можно разработать серию лабораторных работ по дисциплине «Биофотоника».

Приложение А. Описание используемого оборудования

Источник излучения – 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 растений. Основные характеристики лампы Ava Light-XE приведены в табл. 1.

Таблица 1. 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

Источниками фонового облучения растений являются облучатели, установленные в фитотроне, они не оказывают воздействия на создаваемую установку.

Приемник излучения:

Для измерения спектров люминесценции, из имеющегося на кафедре оборудования, наибольшим образом подходит оптоволоконный спектрометр Ava Spec фирмы Avantes (рис. 1). Данный спектрометр построен по схеме

Черни-Тернера. Основные характеристики спектрометра приведены в табл. 2 ниже.



Рис. 1. Высокочувствительный оптоволоконный спектрометр Ava Spec фирмы Avantes

Таблица 2. 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 для измерения спектра от листа у фирмы Avantes разработан специальный оптоволоконный модуль - FCR-7UVIR200-2-ME - металлизированный рефлектометрический пробник, служащий для подвода возбуждающего излучения к образцу и передачи свечения образца на приемный спектрометр (рис. 2).

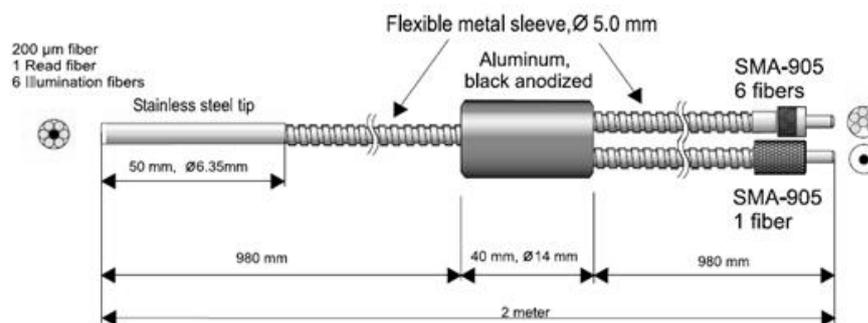


Рис. 2. Оптоволоконный модуль - FCR-7UVIR200-2-ME

Интегрирующая сфера (рис.3). Основная функция интегрирующей сферы – сборание света.

Принцип действия интегрирующей сферы заключается в том, что свет, входящий в сферу через входной порт (1), испытывает многократные диффузные отражения и однородно распределяется во внутреннем объёме сферы. Приёмный оптоволоконный кабель присоединяется к SMA-разъёму (2), расположенном под углом 90 градусов относительно входного порта (1) в участке сферы, отделённом световым экраном (перегородкой). Это обеспечивает независимость освещённости входной апертуры приёмного кабеля от углового распределения света. Перегородка предотвращает попадание первых отражений в приёмное оптоволокно.

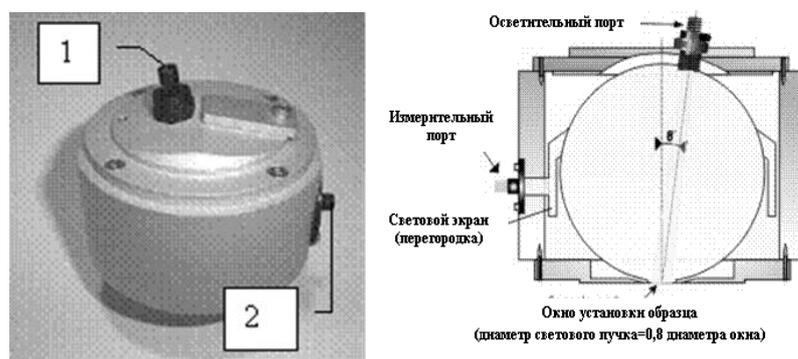


Рис. 3. Интегрирующая сфера

Референсный белый отражатель (рис. 4) использовался как опорный сигнал для калибровки спектра отражения от источника – ксеноновой лампы.

Референсный белый отражатель WS-2 представляет собой пластину, изготовленную из белого диффузно отражающего материала на полимерной основе из политетрафторэтилена (ПТФЭ). Обеспечивает самые высокие требования к диффузному отражению.



Рис. 4. Референсный отражатель

Список используемых источников

- [1] Тихонов, А.Н. Трансформация энергии в хлоропластах – энергопреобразующих органеллах растительной клетки / А.Н. Тихонов // Соросовский образовательный журнал – 1996 - №4
- [2] Якушкина Н.И. Физиология растений / учебник для ВУЗов Н.И. Якушкина. – М.:Владос, 2004. – 464 с.
- [3] Конев С.В. Фотобиология / С.В. Конев, И.Д. Волотовский. – Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1979. – 385 с.
- [4] Малиновский В.И. Физиология растений / В.И. Малиновский. – Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2004. – 105 с.
- [5] Лебедев С.И. Физиология растений / С.И. Лебедев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 544с.
- [6] Фотобиофизика. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / И. Е. Суковатая, В. А. Кратасюк, В. В. Межевикин и др. – Электрон. дан.(9 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 1 электрон. опт. диск (DVD).
- [7] Рабинович Е. Фотосинтез / перевод А.А. Ильиной, ; М.:1983 – 620 с. – 2т.
- [8] Уткин А. И., Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты)/ А. И. Уткин, т. 1, М., 1975 – 168 с..
- [9] Генина Э.А. Оптика биотканей / учебное пособие Э.А. Генина. – СПб.: Изд-во СГУ, 2006. – 43 с.
- [10] Кочубей В.И. Спектроскопия рассеивающих сред / учеб.пособие В.И. Кочубей, А.Н. Башкатов. – 2014 – 197 с.
- [11] Артемьев В.П. Спектры растительности / В.П. Артемьев. – М.: 2009. – 203 с.

- [12] Бриттон Г. Биохимия природных пигментов / пер. с англ. В.Д. Цынденамбаева. – М.: Мир. – 1986. – 422 с.
- [13] Двораковский М.С. / Экология растений: Учеб. Пособие для вузов, — М.: Высш. Шк., 1983. - 190с
- [14] Белоусова О.Л. Инновации в растениеводстве / О.Л. Белоусова // Аграрные известия – 2016 - №4.
- [15] Агропрактик [электронный ресурс] / Александров Е.М. – Режим доступа: <http://agropraktik.ru/blog/408.html>. Дата обращения: 24.02.2017.
- [16] Laser Leaf Area Meters CI-202 and CI-203 [Электронный ресурс] / Bio-Science.Inc. – Режим доступа: http://www.ictinternational.com/content/uploads/2014/03/CI-202_203_PrintView.pdf. Дата обращения 02.03.2017.
- [17] Каталог оборудования [Электронный ресурс] / GrainLAB – Режим доступа: <http://grainlab.ru/catalog/oborudovanie-dlya-analiza-zerna/n-testery/n-tester-dualex-scientific/>. Дата обращения 28.01.2017.
- [18] Прибор для определения содержания хлорофилла [Электронный ресурс] / Theseus Lab – Режим доступа: <https://theseuslab.by/p43660940-pribor-dlya-opredeleniya.html>. Дата обращения: 02.03.2017
- [19] Листовой индекс / Родовое поместье – 2010 - №8.
- [20] Gitelson A.A. The chlorophyll fluorescence ratio as an accurate measure of the chlorophyll content in plants / A.A. Gitelson, C. Buschmann, K. Lichtenthaler // Remote sensing of environment – 1999.
- [21] Мерзляк М.Н. Пигменты, оптика листа и состояние растений / М. Н. Мерзляк // Соросовский образовательный журнал – 1998 - №4
- [22] Черепанов С.А. Вегетационные индексы / С.А. Черепанов // Геоматика – 2011 - №2.
- [23] lb

[24] Ильницкий О.А. Оптические свойства листьев растений в ближнем инфракрасном излучении в связи с их водным режимом / О.А. Ильницкий // Бюллетень Никитенского ботанического сада – 2007 – вы.. 94.

[25] Алтынов А.Е. Малинников В.А. Спектрометрирование ландшафтов.// Учебное пособие для студентов М.: Изд. МИИГАиК, УПП «Репрография», 2010, 120 с.

[26] Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. – М.: Изд. АН СССР, 1947.

[27] Андреев А.И. Модульная многоканальная оптоволоконная спектрометрическая система /под ред. А.В. Никитенко, В.В. Некрасовой – М.: 2008, 246 с.