

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Бакалаврская

На тему Влияние фоновой засветки на определение концентрации
загрязняющих веществ

Исполнитель Коротких Даниил Игоревич

Руководитель доктор физико-математических наук
Потапова Ирина Александровна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

Бобровский Анатолий Петрович

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ	6
1.1 Атмосфера.....	6
1.2 Химический состав	6
1.3 Парниковые газы.....	8
1.3.1 Водяной пар	8
1.3.2 Углекислый газ	8
1.3.3 Метан	10
1.3.4 Озон.....	11
1.4 Структура атмосферы	11
ГЛАВА 2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ	14
2.1 Виды загрязнения	14
2.2 Аэрозоли в атмосфере	15
2.3 Время пребывания в атмосфере.....	17
2.4 Воздействие на организм человека	20
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРОВ И ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК	21
3.1 Физические явления, используемые для лазерного зондирования атмосферы.....	21
3.1.1 Молекулярное поглощение.....	22
3.1.2 Флуоресценция	25
3.1.3 Молекулярное рассеяние света.....	28
3.1.4 Рассеяние и поглощение аэрозолями	29
3.1.5 Комбинационное рассеяние	30
3.2 Лазерное излучение в атмосфере	31
ГЛАВА 4. АППАРАТУРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	33
4.1 Газовые лидары	35
4.1.2 Гелий-неоновый лазер.....	37
4.3 Жидкостные лазеры на красителях	38
4.4 Полупроводниковые лазеры	39
4.5 Передающая и приемная оптика	40

4.6 Приемники излучения	41
ГЛАВА 5. СОВРЕМЕННЫЕ ЛИДАРЫ	46
ГЛАВА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ СЛАБОГО СИГНАЛА	56
6.1 Обработка эхо-сигналов без итерационного процесса.....	56
ГЛАВА 7. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
ВЫВОД.....	61
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	62

ВВЕДЕНИЕ

Человечество уже вряд ли может представить свою жизнь без фабрик, заводов, автомобилей, значительно улучшающих качество жизни человека. Однако также трудно не согласиться с тем, что выбросы предприятий и выхлопные газы автомобилей имеют влияние на состояние всей биосферы, в том числе и атмосферы.

Помимо антропогенных источников загрязнения вклад в загрязнение вносят лесные пожары и аэрозоли, возникающие в приземном слое атмосферы.

Для того, чтобы понимать влияние загрязнения на атмосферу, необходимо уметь определять концентрации загрязняющих веществ – при внесении чужеродных элементов, изменяется естественное соотношение газов.

В наши дни для определения концентрации загрязняющих веществ чаще используют контактные методы измерений. Слабой стороной таких методов считается то, что они дают возможность лишь определять локальные значения концентрации. Для решения задачи по определению пространственного распределения атмосферного аэрозоля, газовых компонентов атмосферы в нашей стране и за рубежом интенсивно развиваются методы дистанционного лазерного (лидарного) зондирования среды.

Лидарная информация об окружающей природной среде важна для решения задачи экологического мониторинга, однако разработка методов лидарного зондирования атмосферы предполагает решение обширной научной проблемы.

В данной работе рассматривается состав атмосферы, этот состав измеряется с помощью неконтактных методов. Для использования этих методов используются лидарные системы, различные схемы лидарных систем также рассматриваются в данной работе.

Актуальность работы обусловлена тем, что процессы атмосферы и все её составляющие очень важны для изучения и последующего прогнозирования

динамики разных направлений. Качественный мониторинг окружающего нас мира очень важен для высокого качества жизни человека. Поэтому точно обработанные данные позволяют определить качественный состав атмосферы, от газов до разного рода загрязнителей. Для того, чтобы у нас была такая информация, нам нужны не только высокочасные установки, но и методы, которые улучшат обработку экспериментальных данных.

Цель работы: Цель данной работы заключается в разработке более простого, с повышением точности обработки большого количества экспериментальных данных, метода.

Задача: сравнить общепринятый метод обработки экспериментальных данных с более простым методом, который разрабатывался в данной работе.

ГЛАВА 1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Атмосфера

Атмосфера - газовая оболочка, окружающая небесное тело. Внутренняя поверхность атмосферы Земли покрывает гидросферу и частично земную кору. Внешняя поверхность граничит с околоземной частью космического пространства.

Разделы физики и химии, которые изучают атмосферу, называют физикой атмосферы. Атмосфера также определяет погоду на поверхности Земли. Изучением изменения погоды занимается метеорология, а многолетними колебаниями климата – климатология.

1.2 Химический состав

Химический состав атмосферы является одним из важных климатообразующих факторов. Способность атмосферы отражать, пропускать, поглощать и перенаправлять солнечную энергию в разных участках спектра напрямую зависит от ее химического состава. Влияние химического состава атмосферы на климат может быть прямым или косвенным. Прямое влияние заключается в том, что оптические свойства атмосферы, следовательно, и количество тепла климатической системы определены ее хим. составом.

Основной состав воздушной оболочки Земли – это азот, кислород и аргон. Эти газы составляют примерно 99,96% массы атмосферы. Соотношение их содержания остается неизменным от приземного слоя до высоты приблизительно 100 км.

Малые газовые составляющие. Такие газы в малом объеме постоянно находятся в воздушной оболочке, хотя это количество способно изменяться в разнообразных регионах земного шара. Самые значимые малые газы – озон,

закись азота, оксид углерода, двуокись углерода, метан. Малые газы вовлечены в огромное количество химических реакций.

Неустойчивые молекулы и атомы. Их количество довольно мало в атмосфере. Вследствие их большой реакционной способности период их существования в атмосфере порой доходит до долей секунд. В их ряды входят оксид хлора, атомный кислород, гидроксид, а также другие молекулы и частицы. Большая часть из них формируется в процессе фотодиссоциации молекул под влиянием солнечной радиации, в частности в его ультрафиолетовой части спектра.

Таблица 1 - Атмосферные газы

Газ	Содержание по объёму (%)	Содержание по массе (%)
Азот (N ₂)	78,084	75,5
Кислород (O ₂)	20,948	23,15
Аргон (Ar)	0,934	1,292
Углекислый газ (CO ₂)	0,031	0,046
Неон (Ne)	0,001818	0,0014
Гелий (He)	0,000114	0,003
Метан (CH ₄)	0,0002	0,000084
Криптон (Kr)	0,000524	0,000073
Водород (H ₂)	0,00005	0,000080
Ксенон (Xe)	0,0000087	0,000040

1.3 Парниковые газы

1.3.1 Водяной пар

Он обладает важнейшей значимостью в теплообмене и обмене энергией в масштабах планеты. Количество водяного пара напрямую связано с температурой. Тепловой баланс небесного тела и протекание процессов развития климата и погоды находятся в зависимости от количества водяного пара. Концентрация водяного пара изменчива и неустойчива. Она способна меняться от жидкого агрегатного состояния до твердого и обратно. Подобные трансформации иногда сопровождаются выделением энергии в окружающее пространство или поглощением этой энергии – в зависимости от направления. Эти процессы характеризуют динамику климата в атмосфере и температуру тропосферы. Важное значение водяного пара состоит в том, что он способен удерживать длинноволновое тепловое излучение поверхности и является одной из основных причин происхождения парникового эффекта.

От концентрации водяного пара зависят широтная, временная и сезонная динамика климата и температуры. При повышении высоты, средние значения концентрации уменьшаются. Нужно отметить, что они уменьшаются значительно быстрее, нежели общее давление. На высотах около десяти километров концентрация уже на два порядка ниже, чем у поверхности Земли, давление же уменьшается в десять раз.

1.3.2 Углекислый газ

Известно, что двуокись углерода - постоянная компонента атмосферного воздуха. Его концентрация в доиндустриальную эпоху составляла примерно 0,03% (280 ppm). Изменение его доли, занимаемой в атмосфере, способно сильно влиять на климатические условия Земли. Активное развитие промышленной деятельности в XIX и XX столетиях

привело к значительному увеличению концентрации CO_2 в атмосфере. На рисунке представлен рост концентрации двуокиси углерода в атмосфере за последнее тысячелетие. При сжигании топлива в тепловых котлах электростанций, а также двигателях внутреннего сгорания в атмосферу попадает значительное количество CO_2 – в пересчете на углерод - 6 Гт в год, что составляет достаточно ощутимую величину в сравнении с естественным кругооборотом углерода (160 Гт/год), причина которого - массообмен атмосферы с океаном и биосферой.

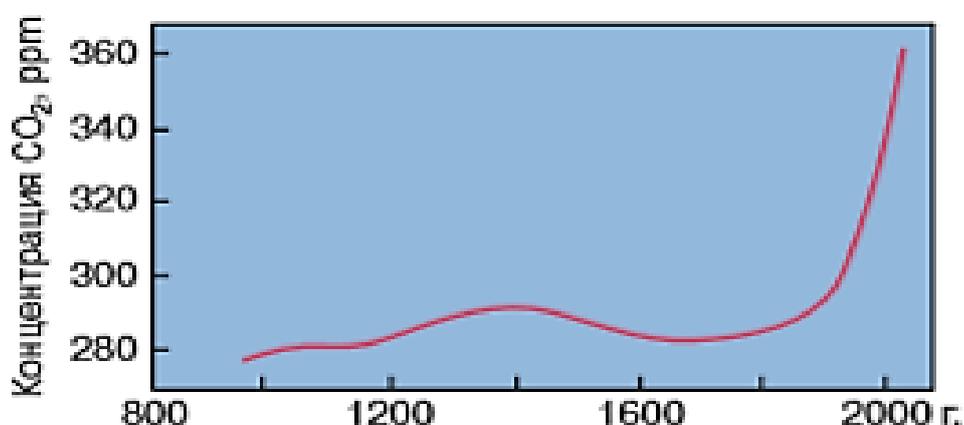


Рисунок 1.3.2 - График концентрации двуокиси углерода

График на рисунке (1.3.2) показывающий, как изменилась концентрация двуокиси углерода в земной атмосфере за последние 1000 лет. Измерения, которые принадлежат к 1000–1900 годам, выполнены в виде изучения пузырьков воздуха в кернах льда Антарктиды; в то время как прямые измерения - на протяжении последнего столетия.

Важно заметить - не все специалисты единодушны в своих оценках воздействия техногенной эмиссии углекислого газа на земной климат. Есть ученые, которые полагают, что измеряемые и ранее температурные колебания земной поверхности имеют связь с естественными природными факторами. Например, периодическое изменение светимости Солнца, прохождение

Солнечной системы через пылевые облака, периодические изменения орбиты Земли и наклон земной оси.

1.3.3 Метан

Метан представляет собой один из важных органических веществ в атмосфере. Его количество значительно превосходит количество других органических соединений. В шестидесятые и семидесятые годы количество метана росло со скоростью 1% в год. Подобное явление пояснялось деятельностью человека.

Метан довольно интенсивно поглощает тепловое излучение планеты в ИК области спектра на длине волны 7,659 мкм, а вследствие большого роста его в атмосфере, происходит усугубление парникового эффекта. Метан серебрянный призер после двуокиси углерода по эффективности поглощения теплового излучения Земли. Значение метана в процессе создания парникового эффекта составляет примерно 30% от величины, установленной для CO₂. При повышении концентрации метана изменяются химические процессы в атмосфере, и это может ухудшить экологическое состояние на Земле. Безусловно появляется проблема управления физическими и химическими процессами, в которых принимает участие CH₄. Если молекулы метана попадают в атмосферу, то они вовлекаются в процессы переноса и вступают в реакции, которые хорошо известны как качественно, так и количественно. Управление процессами в атмосфере в глобальном масштабе почти исключено. Направленное влияние на процессы в атмосфере получалось осуществлять благодаря изменениям мощности техногенных источников. По этой причине надо осознавать характер происхождения естественного, а также, антропогенного метана, производя оценку мощности источников с достаточной степенью точности. Период существования метана в атмосфере приблизительно 10 лет [11].

1.3.4 Озон

Озон – это природная защита Земли от излучения Солнца, которое вредно для биосферы планеты, в УФ диапазоне спектра, которая поглощает в атмосфере радиационное излучение, с длинами волн меньше 0,30 мкм. Количество атмосферного озона невелико и основное его количество находится на высотах от пятнадцати до двадцати шести километров (на экваторе). Концентрация озона, которая заключается в вертикальном столбе – это главная особенность озона. Её можно измерить в единицах Добсона (Единица Добсона - единица содержания озона, которая равна одной сотой приведенной толщины озонового слоя, т. е. толщине слоя, которая была бы получена, если бы весь озон, содержащийся в атмосфере, был приведен в нормальные условия. 1 единица равна 0,03 мм. (1 Д.Е.= 10^{-3} атм*см)). Весь суммарный озон меняется в интервале от 68 до 760 Д.Е.

1.4 Структура атмосферы

По физическим характеристикам атмосфера неоднородна по горизонтали и вертикали. Неоднородность по вертикали проявляется несколько сильнее чем неоднородность по горизонтали.

Величины температуры и давления меняются при увеличении высоты, из-за этого ее традиционно разделяют на тропосферу, стратосферу, мезосферу и термосферу, переходящие в космос. Промежуточные зоны принято называть тропопаузой, стратопаузой и мезопаузой. То как зависит распределение температуры от высоты, а также расположение этих зон показано на рисунке (1.3).

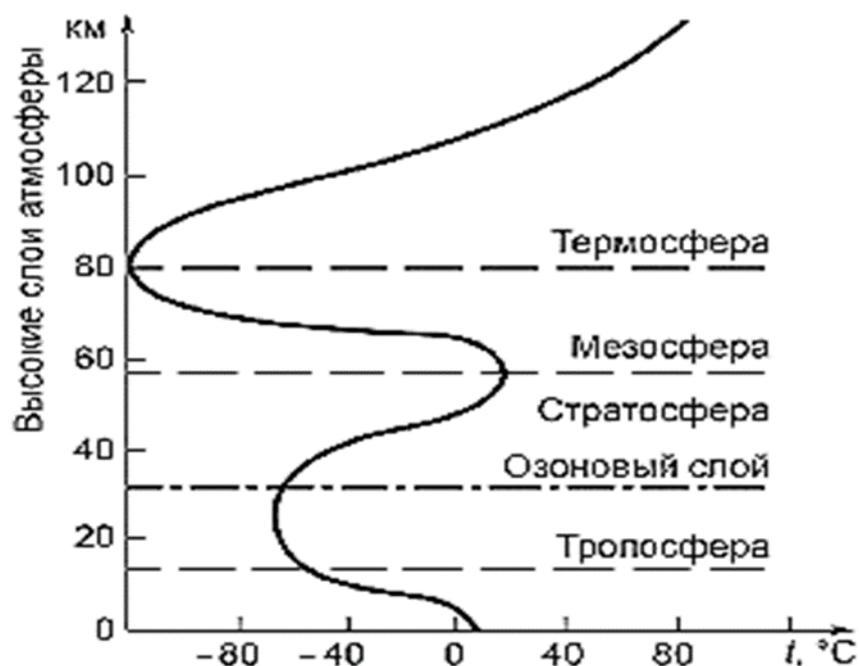


Рисунок 1.3 - Атмосферная стратификация

При увеличении высоты воздействие большого количества факторов ослабляется: сопротивление или передача тепла конвекцией, распространение звука, и т.д. На высотах от 100-130 километров, пропадают важные для авиации условия полёта. Общепринято, что на этой границе проходит линия Кармана. После нее появляются условия, в которых есть возможность управлять летательным аппаратом только с помощью реактивными силами. [33]

Тропосфера представляет собой слой, где верхняя граница находится примерно в десяти километрах над полюсами и приблизительно семнадцати километров над экватором. Тут находится большая доля атмосферного воздуха (около восьмидесяти процентов) и водяного пара, нагревающегося от земной поверхности (суши и воды). Крупная доля облаков создается в тропосфере. Это связано с тем, что тут проходят фазовые переходы воды. Тропосфера имеет неустойчивое распределение образующих газов, а также аэрозолей, поскольку время нахождения там ее малейших составляющих кратковременно порядка нескольких часов.

Место обитания стратосферы приблизительно 47-52 километров. Она определяется константной температурой (около 273К). Воздух стратосферы неизменен по сравнению с тропосферным. Он устойчив, и период пребывания меньших компонентов может изменяться от дней до нескольких десятков месяцев. В нем состоит озоновый слой. Из-за уменьшенной плотности цвет неба переходит из голубого в фиолетовый.

Расположение мезосферы приблизительно 50-80 километров. Цвет неба становится чёрным, а температура уменьшается до -70 - 80 градусов С. Плотность воздуха понижается в двести раз.

Обычно считают, что космос начинается от 19-20 километров, где атмосферное давление падает до 47 мм рт. ст. и температура кипения воды равна температуре человеческого тела — 36,6 градусов. За герметичной кабиной на этих высотах смерть неминуема и проходит моментально.

ГЛАВА 2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Загрязнение среды – следствие добавления или создания в среде нетрадиционных для окружающей среды химических, физических веществ или превышение естественного среднесуточного количества загрязнений в среде (в пределах его крайних колебаний), часто влекущее негативные последствия. Загрязнение – не просто внесение в среду чуждых компонентов. Превышение или дефицит одних веществ или присутствие в ней других веществ является изменением экологических факторов, которые отклоняются от требований экологической сферы того или иного организма.

2.1 Виды загрязнения

Загрязнение атмосферы может быть разделено на две категории. По источникам загрязнения:

1) Естественные источники. Иницированное природными процессами такими как: ветровая эрозия, массовым цветением растений, дымом от лесных и степных пожаров, вулканическая деятельность, выветривание горных пород;

2) Антропогенные источники. Загрязнения, которые могут быть связаны с выбросом различных загрязняющих веществ в процессе деятельности человечества. По своим масштабам оно существенно превышает естественное загрязнение атмосферного воздуха.

По характеру загрязнения атмосферы:

1) Химическое загрязнение. Загрязнение газами либо аэрозолями. Основные: Оксид углерода (IV), аммиак, радиоактивные изотопы и пыль оксид азота, диоксид серы, углеводороды, тяжелые металлы, альдегиды;

2) Физическое загрязнение. Всего 5 типов загрязнений: механическое (твердые частицы), радиоактивные (ионизирующее излучение и изотопы), шумовое (низкочастотные колебания и громкие звуки разного характера),

тепловое (выбросы воздуха высокой температуры) и электромагнитное загрязнение (радиоволны и различные виды электромагнитных волн);

3) Биологическое – В большей степени, это загрязнение микробной природы. Загрязнение воздуха вегетативными формами и спорами бактерий и грибов, вирусами, а также их токсинами и продуктами жизнедеятельности.

2.2 Аэрозоли в атмосфере

Аэрозоль - это мелкие загрязнители атмосферы, такие как: частицы от дыма лесных пожаров, частицы пыли, морской соли или вулканических извержений. Они обладают широким охватом размеров. Аэрозоли могут транспортироваться от приземного слоя атмосферы до стратосферы. В основном, они и определяют прозрачность атмосферы.

Аэрозоль подразделяют на три вида: мелкодисперсный, среднедисперсный и грубодисперсный. Среднедисперсный аэрозоль содержит большие частицы, а грубодисперсный - гигантские. Последние (наиболее крупные) - ядра конденсации. Они способствуют превращению водяного пара в капли воды.

У аэрозоля присутствуют характеристики рассеивания и поглощения солнечного и теплового излучения, что определяет оптические свойства атмосферы. В частности, эти характеристики возникают в области взаимодействия с коротковолновым излучением (интервал от ультрафиолетового до инфракрасного излучения), где и наблюдаются максимумы солнечного излучения. Понятно, что пространственное и временное распределение количества аэрозоля иррегулярно. К примеру, при отдалении от крупных городов количество уменьшается, при приближении или в черте города - увеличивается.

Источники аэрозолей в большей мере - природные процессы. Растительный и почвенный покров примерно дают сорок процентов всей

концентрации аэрозоля, вода - около двадцати процентов и транспорт - до десяти процентов.

Химический состав аэрозоля неоднороден. Например, для песка могут быть диоксид кремния (SiO_2), токсичные металлы, пестициды. Антропогенный вклад - в большинстве своем, сульфаты. Главный антропогенный источник аэрозолей - различные процессы горения. Доля метеоритных частичек составляет около десяти процентов всех аэрозольных частиц в нижней части стратосферы. С высотой она увеличивается, доходя до 80 - 100 процентов в ионосфере.

В стратосфере такого рода загрязнители распределены по всей высоте слоя. Основное количество находятся на высоте 20 километров, и именуется 20-километровым аэрозольным слоем или слоем Юнге. Основное воздействие аэрозолей в стратосфере заключается в их влиянии на перенос радиации в атмосфере. Оно в последующем влияет на общий радиационный баланс Земли.

Неблагоприятное воздействие дымовых, а также газовых загрязнений обостряются при туманах: присутствие примесей в туманах дополнительно создает плохую видимость, поскольку частицы дыма содействуют конденсации атмосферной влаги. Таким образом, заметна взаимная реакция туманов и дымов. Для характеристики дымогуманного явления, обширное продвижение приобрел специальное название «смог». Выделяют 2 типа смога: Лондонский и Лос-Анджелесский (наименования созданы в соответствии с городами, где наблюдался этот эффект)

Смог в Лондоне, в основном, прослеживался в зимний период в утренние часы в безветренную погоду, при температуре воздуха от -1 до +4 градусов и относительной влажности воздуха выше 85%. Он характеризовался состоянием, схожим на плотный туман с дальностью видимости не более 30 м. Главные источники загрязнения воздуха, вследствие которых и появлялся «смог» — выбросы в атмосферу SO_2 , CO. Это дымовые и газовые выбросы, возникающие при сжигании угля и мазута. Смешивание сернистого газа и капель тумана приводит к формированию аэрозоля сернистой кислоты,

которая в сопоставлении с сернистым газом обладает большей токсичностью. Присутствие её в атмосфере значительно увеличивает коррозию металлических и аналогичных им изделий.

Помимо этого, сернистый газ, растворенный в каплях тумана, существенно быстрее, нежели сернистый газ в газообразном состоянии, окисляется до сернистого ангидрида с последующим образованием серной кислоты. Увеличиваясь, капли тумана способны выпадать в виде мороси, содержащей заметное количество серной кислоты. Последнее явление приобрело наименование «кислотные дожди».

Для смога в Лос-Анджелесе, чаще всего наблюдавшегося в августе-сентябре в середине дня, характерны скорость ветра меньше 3 м/с, температура воздуха 24-32 градусов С, относительная влажность меньше 70% и видимость 1,5-8 километров. Причина появления смога лежит в сильном загрязнении воздуха автотранспортными выхлопами.

В случае если анализировать аэрозоли не как часть атмосферы Земли, а как часть среды, в которой функционирует, существует живность, то основной характеристикой будет нахождение крупных (среднедисперсных) и гигантских (грубодисперсных) частиц. Численное содержание влияет на человеческое здоровье и фиксирует степень его комфорта во всех областях. Если изучать аэрозоль с точки зрения исследования прозрачности атмосферы, то содержание аэрозольных частиц будет определять её прозрачность. В этих частицах явно выявляются физические свойства, с помощью которых ведутся научные исследования.

2.3 Время пребывания в атмосфере

Период присутствия частиц в атмосфере и их рассредотачивание по местности находится в воздействии от их размера и плотности, скорости ветра, также от вышины, на которую вначале были подняты частички. Большие частички нередко оседают в период от нескольких часов до нескольких суток,

однако их можно транспортировать на существенное расстояние, если они изначально находятся на достаточной большой высоте. Стоит отметить к примеру, пыль пустыни Сахара можно отыскать в Латинской Америке Америки, в Центральной Америке, но также на юге Соединенных Штатов. Частицы данной пыли имели в поперечнике 12 мкм и выше, средняя плотность была 2,5 г/см. Говорим мы не о малом количестве песка и пыли. Каждый год масса атмосферной пыли, выносимой из Сахары, по ориентировочным оценкам приблизительно от 100 до 400 Мт. Часть пыли становится сухой, часть прибивается к земле погодным явлением, которое именуется дождь.

Те частички, которые по собственному поведению схожи с частичками газов (диаметр 1 мкм и меньше), в малой степени подвержены деянию небесных осадков, время их существования в нижних слоях атмосферы приблизительно 10 – 20 суток. Наличие данного времени хватает для рассредоточения частичек по всему земному полушарию. Поэтому переход из северного полушария в южное не может занять 20 суток, потому что экваториальная зона низкого давления вокруг Земли очень сильно препятствует транспортировке воздушных масс меж 2-мя полушариями (рис 2.3).

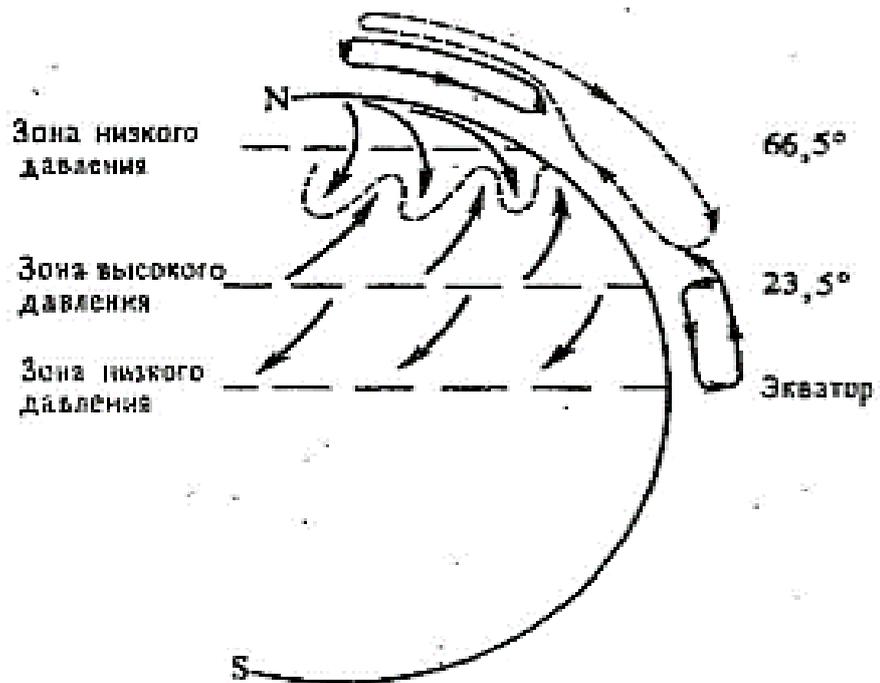


Рисунок 2.3 - Распространение частиц в атмосфере

Если пыль и аэрозоли касаются поверхностных слоев тропосферы, то им предоставляется возможность просочиться и в стратосферу при помощи горизонтальных воздушных потоков меж тропосферой и стратосферой завихрениями на флангах (рис 2.4).



Рисунок 2.4 - Движение воздушных потоков

При вулканическом выбросе частички золы и пыли способны подниматься на значительную высоту 20 км и даже выше, такое явление наблюдалось на о. Кракатау в 1883 г. и о. Святой Елены в 1980 г. Длительность нахождения пыли и аэрозолей в стратосфере приблизительно 1-3 года.

2.4 Воздействие на организм человека

Пылеобразование разного вида и происхождения может вызвать у людей аллергическую реакцию. Под аллергической реакцией понимают чрезмерную восприимчивость человеческого организма к воздействию определенных веществ. При аллергии возникают различные признаки хвори: воспалительные процессы (раздражение), усиленная секреция слизистых оболочек, отеки и др. Бывают разные аллергические проявления, которые зависят от периода между контактом с аллергеном и проявлением болезненных симптомов: немедленное воздействие, когда этот промежуток времени продолжается от нескольких минут до пары часов, и замедленное воздействие, когда этот период может занять несколько суток. Чтобы успешно спровоцировать аллергическую реакцию, раздражитель обязан войти с ним во внутренний контакт. При всем этом в реакции антиген-антитело наш организм создает специфическое антитело против чужеродного захватчика. При втором взаимодействии с таким же антигеном, или аллергеном, появляется специфический комплекс антиген-антитело, другими словами лаброциты в крови, назначение которых заключается в высвобождении медиаторов, например, гистамина. Медиаторы, в возникнувшем случае если они находятся в очень больших концентрациях, способствуют протеканию в человеческом организме аллергических реакций. Поэтому задача медицины - это поиск таких веществ, которые компенсируют активность медиаторов (антигистамин) либо мешают лаброцитам при освобождении из заключения [18].

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРОВ И ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

Средство наблюдения за атмосферой, удовлетворяющее прогрессивным требованиям науки и практики, состоящее из средств космического, самолетного, корабельного и наземного базирования. Система должна давать массивы информации с нужным пространственно-временным разрешением как по погодообразующим характеристикам (давление, температура, ветер, влажность, облака, аэрозоли, газовые составляющие), так и загрязнителям, находящимся как в глобальном, так и в областном масштабе. Исключительно в такого рода постановке задания наблюдения атмосферы можно возлагать на существование усовершенствования точности прогнозов погоды одновременно загрязнения окружающей нас среды, включая пришествие экологически небезопасных ситуаций и разных естественных бедствий. Непосредственно такой наземно-аэрокосмический сложный комплекс обязан полностью удовлетворять условиям Интернациональной геосферно-биосферной программы (МГБП) и программы массовых конфигураций атмосферного климата.

3.1 Физические явления, используемые для лазерного зондирования атмосферы

Связь лазерного излучения с компонентами атмосферы характеризуется надлежащими основными физиологическими действиями: 1) рассеянием и также поглощением аэрозолями; 2) молекулярным рассеянием; 3) поглощением газами; 4) флуоресценцией атмосферных газов и аэрозолей; 5) комбинационным рассеянием; 6) резонансным рассеянием; 7) нелинейными эффектами. Эти явления могут рассматриваться самостоятельно, что предоставляет возможность выбором характеристик излучения свести к минимуму тот или иной эффект или напротив увеличить по сопоставлению с

прочими ради получения информации об объекте зондирования. Кроме энергетических утрат световая волна, распространяясь в атмосфере, претерпевает флуктуации амплитуды, а вдобавок фазы, случающиеся от беспорядочного пространственно-временного распределения показателя преломления воздуха.

3.1.1 Молекулярное поглощение

Поглощение молекулами атмосферных газов лазерного излучения, характеризующегося значительной монохроматичностью, наиболее выражено, когда линия лазерного излучения совпадает с селективной линией поглощения атмосферного газа. Каждая линия поглощения характеризуется положением центра, интенсивностью, полушириной и формой контура. Положение центра в спектре частот определяется энергетическим расстоянием между двумя уровнями оптического перехода $i-j$ в квантовой энергетической структуре молекулы газа

$$hcv_{ij} = E_i - E_j \quad (3.1)$$

где h – постоянная планка, c – скорость света, v_{ij} – частота перехода, E_i и E_j – энергии нижнего и верхнего уровней.

3.1.1.1 Водяной пар

Колебательно-вращательный спектр водяного пара захватывает целиком видимую область, близкую и среднюю инфракрасную области приблизительно вплоть до частот 1000 см^{-1} с центрами полос поглощения 0,59; 0,69; 0,72; 0,81; 0,94; 1,1; 1,38; 1,87; 2,47; 2,66; 37 и 6,25 мкм. Более интенсивной считается 6,25 мкм-полоса поглощения. В вертикальном столбе атмосферы при средней влажности эта полоса полностью поглощает

излучение Солнца в диапазоне длин волн 5,5-7,5 мкм. Полосы поглощения с центрами 3,17, 2,66 и 2,47 мкм совместно обуславливают полное поглощение солнечного излучения в вертикальном столбе атмосферы при средних влажностях в спектральном районе 2,66-3,3 мкм. Вращательный спектр поглощения водяного пара захватывает довольно широкую спектральную область, приблизительно от длин волн 8 мкм до нескольких см. Начиная от длин волн около 20 мкм и далее в длинноволновую область, исключительно вращательный спектр поглощения водяного пара обуславливает полное поглощение солнечного излучения вертикальным столбом атмосферы при любых влажностях.

3.1.1.2 Углекислый газ.

Главная колебательно-вращательная полоса CO_2 с центром около 15 мкм вместе с 14 полосами занимает довольно широкий интервал спектра, примерно 12 - 20 мкм. В центральной части полосы (13,5... 16,5 мкм) вертикальный столб атмосферы полностью поглощает солнечное излучение для любой из длин волн, входящих в этот район.

Основная колебательно-вращательная полоса CO_2 совместно с составной полосой ($2.0 - 10,1^\circ$) образует обычно называемую в литературе полосу поглощения 4,3 мкм. Интенсивность этой полосы настолько велика, что солнечное излучение полностью поглощается в интервале длин волн от 4.2 до 44 мкм в вертикальном столбе атмосферы до высоты 20 км.

Кроме рассмотренных полос 15 и 4.3 мкм углекислый газ имеет совокупности полос поглощения с центрами 10,4; 944; 5.2; 48; 27; 20; 1,6; 1,4 мкм и более слабые в районе 1,24... 0,78 мкм. Ширина всех полос около 0.1 мкм.

3.1.1.3 Озон

Электронные переходы в молекуле озона формируют полосы Хартли и Хюггенса, находящиеся в ультрафиолетовой области спектра (длины волн короче 340 нм), и полосы Шапюи в районе 450 - 740 нм.

Обертоны, а также составные частоты колебаний формируют совокупности колебательно-вращательных полос, которые, группируясь, создают сложные полосы поглощения с центрами приблизительно 5,75; 4,75; 3,95; 3,26; 2,7 мкм. Ширина каждой из этих полос равна примерно 0,1 мкм. Наиболее интенсивной из них является полоса 4,75 мкм.

Немаловажное значение в поглощении солнечной радиации атмосферным озоном имеет полоса 9,6 мкм, находящаяся в центре длинноволнового окна прозрачности атмосферы 8 - 13 мкм. Ее центральная часть шириной приблизительно 1 мкм в вертикальном столбе атмосферы поглощает около половины солнечного излучения. Все полосы поглощения озона крайне богаты линиями.

3.1.1.4 Кислород

Молекулярный кислород обладает сильными электронными полосами в ультрафиолетовой области и сравнительно слабыми: в красной и ближней инфракрасных областях. Восемь полос красной области занимают участок спектра 0,64... 0,76 мкм. В ближней инфракрасной области молекула O_2 имеет две заметные полосы с центрами около длин волн 1,0674 и 1,2683 мкм.

Таблица 3.1.1.4 - Изменения значения сечений поглощения некоторых газов

Измеренные значения сечений поглощения некоторых газов			
Молекула	$\nu_e, \text{см}^{-1}$	$\lambda_e, \text{мкм}$	$\sigma_a(\lambda_e) \cdot 10^{-18}, \text{см}^2$
Ацетилен C_2H_2	719,9	13,890	9,20
Аммиак NH_3	1 084,6	9,220	3,60
Бензол C_6H_6	1 037,6	9,639	0,09
1,3-Бутадиен C_4H_6	1 609,0	6,215	0,27
1-Бутен C_4H_8	927,0	10,787	0,13
Окись углерода CO	2 123,7	4,709	2,80
Тетрахлорметан CCl_4	793,0	12,610	4,80
Этилен C_2H_4	949,5	10,531	1,34
	950,0	10,526	1,70
Трихлорфторметан	847,0	11,806	4,40
CCl_3F (фреон-11)	1 084,6	9,220	1,24
Дихлордифторметан	920,8	10,860	11,00
CCl_2F_2 (фреон-12)	923,0	10,834	3,68
Трифтортрихлорэтан	1 041,2	9,604	0,77
$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$			
Метан CH_4	2 948,7	3,391	0,60
	3 057,7	3,270	2,00
Метанол CH_3OH	1 033,5	9,676	0,89
Окись азота NO	1 900,1	5,265	0,60
	1 917,5	5,215	0,67
Двуокись азота NO_2	1 605,4	6,229	2,68
	22 311,0	0,448	0,20
Озон O_3	1 051,8	9,508	0,90
	1 052,2	9,504	0,56
	39 425,0	0,254	12,00
Тетрахлорэтилен C_2Cl_4	923,0	10,834	1,14
Пропан C_3H_8	2 948,7	3,391	0,80
Пропилен C_3H_6	1 647,7	6,069	0,09
Двуокись серы SO_2	1 108,2	9,024	0,25
	1 126,0	8,880	0,20
	2 499,1	4,001	0,42
	33 330,0	0,300	1,00
Трихлорэтилен C_2HCl_3	944,2	10,591	0,56
Хлорвинил $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	940,0	10,638	0,40

3.1.2 Флуоресценция

Флуоресценция - является фотонным взаимодействием, которое состоит в поглощении некоторого фотона с частотой ν_{ij} с последующим внезапным испусканием фотона с частотой ν_{jk} . Таким образом спектральное сечение флуоресценции описывается выражением:

$$\sigma_f(\lambda_{jk}, \lambda_{ij}) = \sigma_a(\lambda_{ij})\eta_f(\lambda_{jk}, \lambda_{ij}) \quad 3.2$$

где σ_a – сечение поглощения; $\eta_f(\lambda_{jk}, \lambda_{ij})$ – квантовая эффективность, зависящая от коэффициента тушения Q_f и спектральной формы линии флуоресценции $L_f(\lambda_{ik})$:

$$\eta_f(\lambda_{jk}, \lambda_{ij}) = Q_f L_f(\lambda_{ik}) \quad 3.3$$

Здесь Q_f указывает на соотношение излучательных и столкновительных переходов и задается формулой Штерна – Фольмера

$$Q_f = \frac{\Upsilon_R}{\Upsilon_R - \Upsilon_Q} = \frac{1}{1 + \sum_m q_m P_m} \quad 3.4$$

где q_m – коэффициент тушения излучающей молекулы в столкновениях с атмосферными составляющими и индексом m , обладающими парциальным давлением P_m ; Υ_Q – полуширина тушения флуоресценции; Υ_R – полуширина радиационного распада j -го возбужденного состояния, а $L_f(\lambda_{ik})$ характеризует эффективность излучательного перехода во всей полосе флуоресценции, т.е.

$$L_f(\lambda_{ik}) = A_{jk} / \Upsilon_R = A_{jk} / \sum_{i < j} A_{ij} \quad 3.5$$

A_{jk} и A_{ij} – вероятность излучательных переходов.

В атомах или простых молекулах спектр флуоресценции обладает дискретным характером с частотами переизлученных фотонов, равными или меньшими частоты поглощенного фотона. Подобную флуоресценцию традиционно именуют резонансной. В верхней мезосфере и термосфере флуоресценция обретает особенности резонансного рассеяния.

В сложных молекулах с развитой энергетической структурой возбуждение от поглощенного фотона лазерного излучения за счет соударений с атомами и молекулами атмосферного воздуха перераспределяется по разным уровням в результате безизлучательных переходов. Этот процесс в большинстве случаев приводит к широкополосной флуоресценции, которая имеет почти непрерывный спектр.

Люминесценция аэрозолей является паразитным фоновым эффектом, который уменьшает полезную информацию о сигналах резонансной флуоресценции в нижних слоях атмосферы.

Таблица 2.1.2 - Поперечные сечения резонансного рассеяния

Составляющая атмосферы	Длина волны λ_0 , нм	Температура T , К	σ_r , см ² /сп	Составляющая атмосферы	Длина волны λ_0 , нм	Температура T , К	σ_r , см ² /сп
Na	589,0	300	$9,8 \cdot 10^{-13}$	N	821,6	166	$5,8 \cdot 10^{-13}$
		166	$1,2 \cdot 10^{-12}$			166	$1,8 \cdot 10^{-14}$
		200	$6,1 \cdot 10^{-13}$			166	$8,8 \cdot 10^{-13}$
K	589,6	166	$6,6 \cdot 10^{-13}$	O	436,8	166	$3,4 \cdot 10^{-15}$
		300	$1,7 \cdot 10^{-12}$			200	$5,9 \cdot 10^{-23}$
		166	$3,0 \cdot 10^{-12}$			He	1083,0
200	$1,1 \cdot 10^{-12}$	388,9	—	$8,0 \cdot 10^{-15}$			
769,9	166	$1,7 \cdot 10^{-12}$	N ₂ (0,0)	1051,0	260 *		$6,0 \cdot 10^{-18}$
Hg	257,3	300	$5,7 \cdot 10^{-13}$	N ₂ (1,0)	885,0	—	$3,2 \cdot 10^{-17}$
		300	$5,1 \cdot 10^{-14}$	N ₂ (2,0)	748,4	166	$4,2 \cdot 10^{-13}$
Cd	326,1	300	$3,5 \cdot 10^{-15}$	N ₂ (3,0)	682,4	166	$3,0 \cdot 10^{-13}$
		300	$1,5 \cdot 10^{-13}$	N ₂ ⁺ (0,0)	391,4	166	$3,5 \cdot 10^{-14}$
Pb	283,3	300	$5,7 \cdot 10^{-13}$				
		Li	670,8	200	$4,2 \cdot 10^{-13}$	N ₂ ⁺ (1,0)	358,2
Mg	285,2			200	$8,2 \cdot 10^{-13}$		
		Ca	422,7	200	$1,6 \cdot 10^{-12}$	N ₂ ⁺ (1,0)	918,0
Ca ⁺	393,4			200	$5,7 \cdot 10^{-13}$		
		Ba	553,6	200	$2,8 \cdot 10^{-13}$	NO	789,8
Ba ⁺	455,4			200	$3,0 \cdot 10^{-12}$		
		Al	394,4	200	$1,3 \cdot 10^{-12}$		
Fe	372,0			200	$7,9 \cdot 10^{-14}$		
		Cs	361,2	200	$3,7 \cdot 10^{-13}$		
				200	$1,2 \cdot 10^{-12}$		

Примечание. В скобках для молекул даны колебательные квантовые числа v' , v'' ; звездочкой отмечены случаи для ширины линии лазерного излучения $\Delta\lambda_e = 1$ нм.

3.1.3 Молекулярное рассеяние света

Теоретические и экспериментальные изучения молекулярного рассеяния света показали близкую связанность между ними и молекулярной акустикой, разделами молекулярной физики, физикой аморфного и кристаллического состояния вещества.

Молекулярное рассеяние электромагнитного излучения может выразиться через проявления оптических неоднородностей на рассеивающей поверхности вещества или в рассеивающей среде.

Условия возникновения неоднородностей многообразны. Оптически неоднородной среда способна быть во следствии жестких включений первого элемента во второй, например, в результате посторонних включений в кристаллах, частица H_2O или твердых загрязнителей в среде. Если взглянуть с иного ракурса, рассеяние света можно встретить и в веществах, находящихся вне влияния от каких-либо посторонних включений, из-за статистического характера теплового перемещения элементов.

Теория молекулярного рассеяния Кабанна-Релея представляет следующее выражение для коэффициента объемного рассеяния в газах:

$$\sigma_R(\lambda) = \frac{8\pi^3(m_c^2 - 1)(6 + 3\Delta)}{3N\lambda^4(6 - 7\Delta)} \quad 3.6$$

где N – количество молекул в единице объема; m_c – показатель преломления среды; λ – длина волны излучения; Δ - условие деполяризации рассеянного излучения (для молекул воздуха $\approx 0,35$).

Из уравнения вытекает, что по определенной величине $\sigma_R^0(\lambda_0)$ на определенной длине волны λ_0 при температуре и давлении атмосферы P_0 и T_0 можно определить $\sigma_R(\lambda)$ для всех возможных λ , P , T по формуле:

$$\sigma_R(\lambda) = \sigma_R^0(\lambda_0) \frac{P_0 T_0}{P T} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2 \quad 3.7$$

Коэффициент общего σ_R и обратного молекулярного рассеяния связаны соотношением:

$$\sigma_{R,\pi}(\lambda) = 0,119\sigma_R(\lambda) \quad 3.8$$

Этой формулой можно воспользоваться для установления $\sigma_R(\lambda)$ по измеренным значениям $\sigma_{R,\pi}(\lambda)$, что дает возможность на расстоянии устанавливать плотность воздуха атмосферы.

Из-за молекулярного рассеяния происходит некоторое уширение диапазона излучения (вследствие эффекта Доплера) в сравнении с диапазоном излучения источника. В обстоятельствах атмосферы земли частотное смещение диапазона относительно мало.

3.1.4 Рассеяние и поглощение аэрозолями

Рассеяние оптических волн в земной атмосфере сильно связано и зависимо от временных и пространственных изменений макроскопических элементов вещества, находящихся в воздухе.

Поглощение оптического излучения обуславливается значением мнимой части показателя преломления аэрозольного вещества χ . При $\chi\rho < 0,1$ поглощение электромагнитного излучения веществом «прозрачной» частички практически не сказывается на коэффициенте рассеяния, а полный коэффициент соразмерен χ , при том, что коэффициент пропорциональности располагается в зависимости от $\rho = \frac{2\pi a}{\lambda}$. В таком случае поглощение оптического излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 13 мкм водой, которая конденсирована, существенно только в крупнокапельных туманах и облаках. В мгlistых дымках и дымках, где в коротковолновой спектральной области ρ

< 15 ($\lambda = 0,3 - 4$ мкм) и в длинноволновой $\rho < 1$ ($\lambda \geq 8$ мкм) поглощение располагается в влиянии от количества твердых частиц, владеющие мощными полосами молекулярного поглощения.

3.1.5 Комбинационное рассеяние

При этом виде рассеивании происходит трансфер энергии меж рассеивающими молекулами и падающими фотонами. Молекула, которая рассеивает может отобрать энергию у фотона, который рассеивается или дать ему дополнительную энергию, которая сопоставима энергии перехода между внутренними состояниями молекулы. В связи с этим спектральные элементы рассеянного излучения смещены относительно частоты ν_0 нисходящего излучения на величины, которые равны частотам ν колебательно-вращательных переходов облучаемых молекул, иными словами вследствие комбинации частоты возбуждающего света с собственными частотами молекул возникают частоты рассеянного света:

$$\nu_{a,c} = \nu_0 \pm \nu \quad 3.9$$

По этой причине явление называется «комбинационное рассеивание». Частоты $\nu_c = \nu_0 - \nu$ называют стоксовыми линиями, а $\nu_a = \nu_0 + \nu$ – антистоксовым.

Из-за увеличении температуры, число молекул в возбужденном колебательном состоянии увеличивается. Величина смещения ($\Delta\nu$) спектральных элементов рассеянного излучения конкретно обуславливается по свойствам молекул газов и считается особенностью данного типа рассеивающих молекул.

По интенсивности полос комбинационного рассеяния можно судить об их количестве, а по смещению спектральных линий комбинационного рассеяния можно рассуждать о наличии в атмосфере данного газа.

3.2 Лазерное излучение в атмосфере

Распространяясь в атмосфере, электромагнитное лазерное излучение из-за его поглощения атомами, молекулами, аэрозолями испытывает энергетический упадок. Коэффициентом распространения излучения с частотой ν , ослабления атмосферного канала и направлении z является коэффициент пропорциональности в законе Бугера – Бэра, что в дифференциальной форме для плоской волны изображается в виде:

$$dl(\nu) = -I(\nu)\alpha(z, \nu)dz \quad 3.10$$

где $dl(\nu)$ – изменение интенсивности $I(\nu)$ в Вт/см² при прохождении элементарного слоя среды dz ; $\alpha(z, \nu)$ – объемный коэффициент ослабления, измеряемый в см⁻¹, м⁻¹ или км⁻¹. Он представляет собой численную меру абсолютно всех разновидностей взаимодействия, добавляющих вклад в снижение электромагнитного лазерного излучения в слое dz , также может быть представлен в виде суммы.

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_n \quad 3.11$$

где α_p и α_n – объемные коэффициенты рассеяния и поглощения.

Коэффициент α_p , в свою очередь, определяется рассеянием на аэрозолях α_{pa} и молекулах воздуха α_{pm} :

$$\alpha_p = \alpha_{pa} + \alpha_{pm} \quad 3.12$$

А α_n – резонансным поглощением молекулами воздуха α_{np} , нерезонансным молекулярным поглощением α_{nn} и аэрозольным поглощением α_{na}

$$\alpha_{\Pi} = a_{\text{пр}} + a_{\text{пн}} + a_{\text{па}} \quad 3.13$$

Интегральное ослабление излучения, прошедшего в атмосфере расстояние $\Delta z = z_2 - z_1$, может быть получено из (3.2.1) путем интегрирования

$$I(\nu, z_2) = I(\nu, z_1) \exp \left\{ - \int_{z_1}^{z_2} a(\nu, z) dz \right\} \quad 3.14$$

Экспонента характеризует спектральную прозрачность или спектральное пропускание атмосферного слоя.

При ширине линии излучения источника $\Delta \nu$ равной 0, выражение для спектральной прозрачности атмосферы справедливо, так как является идеальным случаем. Диапазон излучения реальных лазерных установок обладает окончательной шириной. В случае если в границах спектрального интервала $\Delta \nu$ коэффициент ослабления невозможно рассматривать постоянным, в таком случае при лазерном зондировании станет регистрироваться не спектральная прозрачность атмосферы, а функция пропускания, искривленная действием аппаратурной функции источника $J(\nu - \nu_e)$, что представляет форму контура линии излучения с центром ν_e . Наиболее существенное проявление этого факта заметно при измерении пропускания атмосферы в области селективных линий поглощения атмосферных газов, спектральные ширины, которые способны быть сравнимы или меньше линии лазерного излучения.

ГЛАВА 4. АППАРАТУРА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Оптическое зондирование атмосферы основывается на упругом рассеянии света. Только с появлением лазеров оптические методы дистанционного зондирования начали совершенствоваться. Лазерное зондирование основывается на принципе световой локации. Таким образом появилось наименование LIDAR (Light detection and ranging), или световой локатор.

Лидары – лазерные локаторы, которые применяются с целью зондирования атмосферы, толщи моря, морской и земной поверхности. Все лидары весьма похожи в схемах. Главные из них:

- Передающая оптическая система;
- Приемная оптическая система;
- Спектроанализатор и фотоприемное устройство;
- Блок обработки сигнала;
- Блок управления;
- Система отображения полученной информации;
- Лазер – передатчик.

При дистанционном зондировании атмосферы молекулы газов, а также аэрозоли стимулируют ослабление проходящего через нее лазерного излучения. Доля лазерного излучения рассеивается в противоположном направлении, в направлении приемника лидара. Это излучение посредством приемной оптики (пропускающей и отражательной) собирается и направляется на фотодетектор, преобразующий его в электрический сигнал, пропорциональный интенсивности принятого излучения. На рисунке 4.1 представлена одна из вероятных схем лидара.

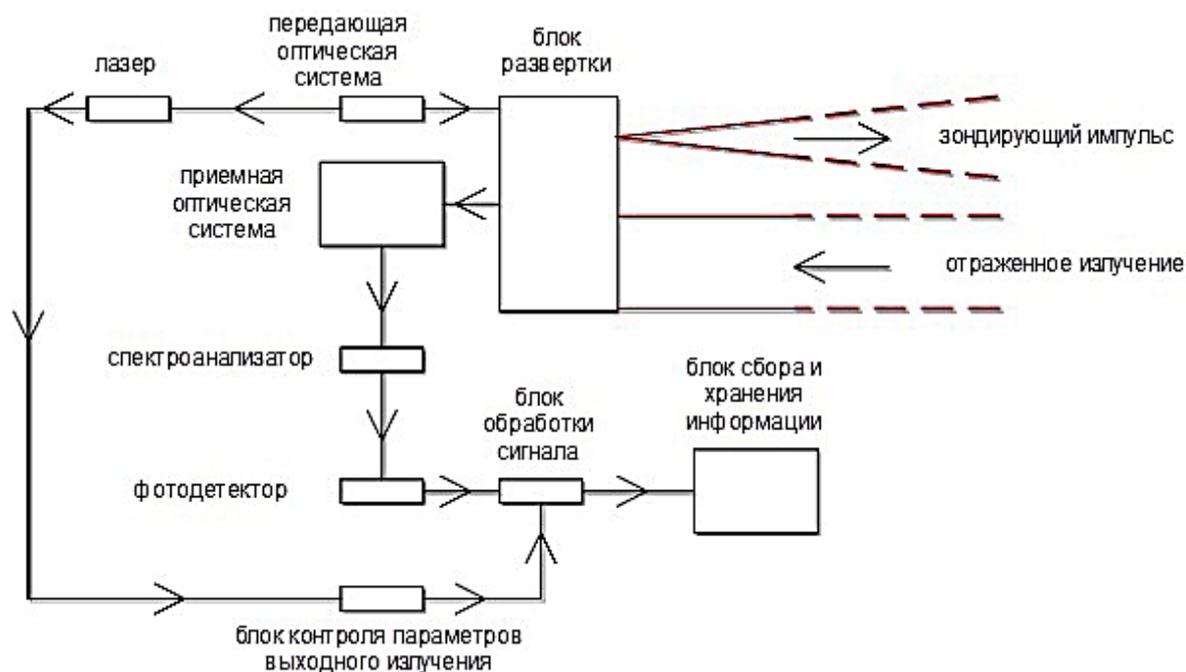


Рисунок 4.1 - Схема лидарной системы

Генераторами излучения в лидарных системах дистанционного зондирования являются лазеры, которые создают сильные импульсы излучения с малой угловой сходимостью в узком спектральном интервале.

Основными элементами лазера числятся активная среда, в которой совершается преобразование энергии наружного источника в энергию электромагнитных колебаний оптического либо инфракрасного диапазонов волн, и оптический резонатор, главное роль которого – создание частотных и пространственных характеристик генерируемого лазером излучения.

Лазеры, применяющиеся для зондирования природной среды, систематизируются по типу активной среды. Например, твердотельные, газовые, жидкостные и полупроводниковые. В данной работе будут рассмотрены все типы. На рисунке 4.2 представлен пример дистанционного мониторинга с помощью лидарной установки.

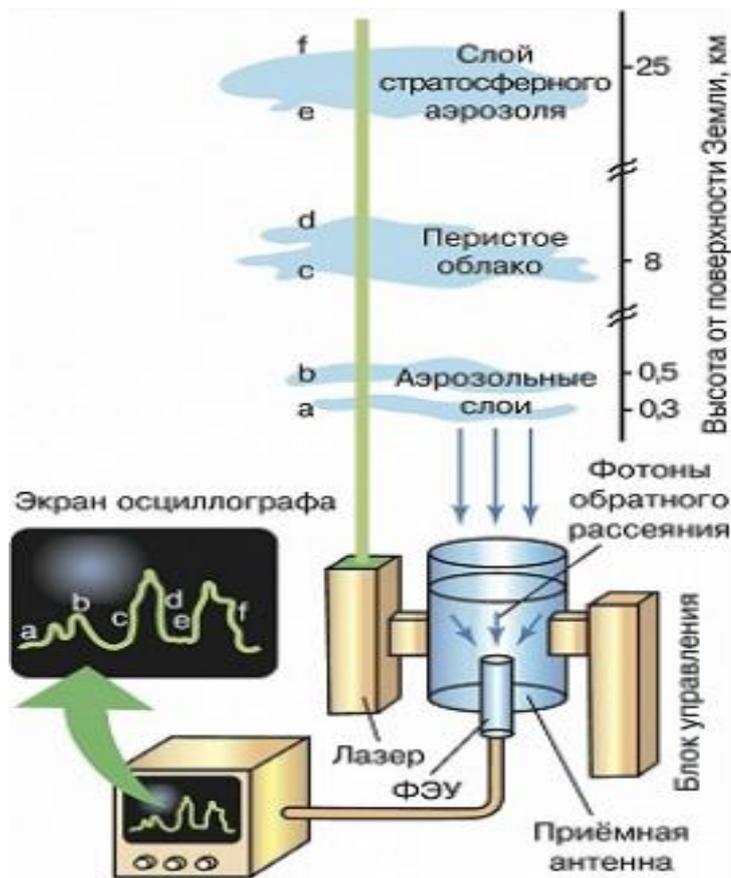


Рисунок 4.2 - Схема действия лидара

4.1 Газовые лидары

Газовые лазеры являются наиболее разнообразными. Лазерные переходы газовых активных сред лежат в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном спектре.

Основные способы возбуждения газообразной среды – электрический разряд, а также ионизация газа потоком электронов. Накачка газовых лазеров выполняется и другими методами – с использованием химических реакций, газодинамических процессов также процессов с участием продуктов ядерного расщепления. В газовых лазерных установках, применяемых с целью дистанционного зондирования, основным генератором энергии накачки обычно считается сильный электрический разряд. Используют лазеры на молекулах диоксида углерода (CO_2), окиси углерода (CO), азота (N_2), лазеры

на гаליдах инертных газов (экспериментальные лазеры), на парах металлов (медь, гадолиний) и друг

Газовые оптические квантовые генераторы обладают рядом преимуществ:

- Возможность длительной работы при комнатной температуре в отсутствие устройств охлаждения;
- Большой уровень монохроматичности (спектральная ширина излучения гелий-неонового ОКГ может достигать до единиц герц);
- Значительная устойчивость и способность воспроизведения частоты, а кроме того высокий уровень пространственной и временной когерентности;
- Малый угол расходимости луча;
- Малая восприимчивость к изменениям температуры среды;
- Обширный диапазон рабочих частот.

4.1.1 Лазеры на двуокиси углерода

Наиболее популярный вид в лидарных системах. Аналогичные лидары функционируют в инфракрасной области спектра на длине волны 10,6 мкм. Они предоставляют возможность формировать довольно мощные и экономичные приборы с весьма значительной монохроматичностью излучения. Значительное преимущество – результативная работа как в постоянном, так и в импульсном режимах.

При применении дифракционной решетки вместо одного из зеркал резонатора возможно осуществить перестройку длины волны генерации CO₂-лазера.

Угол ориентации решетки определяет возможные длины волн излучения. При этом лазерная генерация вероятна только лишь на длине волны удовлетворяющей условию:

$$\lambda = \frac{2d}{m} \cos\theta \quad 4.1$$

где d – период решетки; m – порядок дифракционного максимума.

4.1.2 Гелий-неоновый лазер

ОКГ этого вида причисляют к классу генераторов на нейтральных атомах, возбуждаемых электрическим разрядом. При пропускании электрического тока через газ доля атомов ионизируется и возникают свободные электроны. Под воздействием электрического поля электроны ускоряются, сталкиваясь на своем пути с атомами газа и возбуждая их, отдавая целиком или частично собственную энергию.

На данный момент широкое распространение лазерные системы данного вида получили по следующим причинам:

1. Производство в промышленных масштабах;
2. Тепловой режим, неограничивающий срок службы;
3. Отсутствие других факторов, ограничивающих срок службы.

Основной минус гелий-неонового ОКГ считается малая мощность излучения.

4.2 Твердотельные лазеры

В данном виде лазерных систем активный центр формируется ионами примеси в кристаллической решетке. Установлено более сотни твердых активных сред на базе неорганических материалов, в которых получена образования электромагнитного лазерного излучения.

Наибольшее применение в лидарных системах получили три типа лазеров:

- На рубиновых кристаллах;

- На кристаллах иттрий-алюминиевого граната (ИАГ)
- Лазеры на стеклах, активированных неодимом

Рубиновые лазеры использоваться стали одними из первых. Лазер с рубином, в котором ионы хрома (Cr^{3+}) введены в сапфировый кристалл (Al_2O_3). Количество примеси хрома возможна различной. Для генерации обычно используют розовые кристаллы рубина с весовым количеством (Cr_2O_3) около 0,05%, что соответствует концентрации $1,6 \cdot 10^{19}$ ионов хрома в одном кубическом сантиметре.

Лазеры на ИАГ. В лазерных системах данного типа в кристалл $\text{Y}_2\text{Al}_5\text{O}_{12}$ введены примесные ионы Nd^{3+} . ИАГ, активизированный неодимом из-за невысокой энергетической границы возбужденности и хорошей теплопроводности способен функционировать, как при высоких частотах повторения импульсов генерации, далеко выходящих за пределы, допустимые для стекла и рубина, так и в постоянном режиме излучения при достаточно высоком коэффициенте полезного действия, достигающим 3,3%. Длина волны лазерного электромагнитного излучения составляет примерно 1,06 мкм.

Лазеры на стеклах. Активный элемент в подобных лазерных установках считается стекло, активированное ионами редкоземельных элементов, который представляет собой неорганический термопластический аморфный материал, полученный из фосфора (P), окислов бора и B_2O_3 , кремния (Si) и т.д.

4.3 Жидкостные лазеры на красителях

Категория органических молекул, которые обладают мощным поглощением и усиленной флюоресценцией, получила название класса красителей. Формирование перестраиваемых лазеров на органических красителях позволило использовать методы дифференциального поглощения с целью лазерного контроля многих газовых загрязнителей атмосферы на расстоянии.

Имеется 2 вида импульсных лазеров на красителях:

- Лазеры с накачкой лампой-вспышкой;
- Короткоимпульсные лазеры;

1-ый вид импульсных лазерных установок обладают значительной пиковую мощность, однако обеспечивают нехорошее пространственное разрешение из-за существенной продолжительности импульса. Но за счет модуляции добротности могут являться получены импульсы продолжительностью порядка тридцать нс и с еще огромной пиковой мощностью.

4.4 Полупроводниковые лазеры

В полупроводниковых диодных лазерах обычным методом извлечения инверсии населенностей считается ввод в зону перехода неравновесных носителей тока. В следствии пропускания мощного тока в проводящем направлении в области проводимости создается огромное количество электронов, ну а в валентной зоне избыток дырок. Напряжение, приложенное к полупроводниковому диоду, порождает внезапное испускание на длине волны, определяемой шириной запрещенной области полупроводника. Электромагнитное лазерное излучение в границах полосы увеличения спонтанного излучения появляется вследствие увеличения при многократных отражениях от параллельных граней полупроводникового кристалла, создающих резонатор лазера.

Полупроводниковые лазеры характеризуются небольшими габаритами и значительным коэффициентом полезного действия (порядка 50%). Они могут функционировать в импульсном и непрерывном модах в охвате длин волн от 6 до 34 мкм. Есть некоторое количество способов перенастройки длины волны электромагнитного лазерного излучения — изменением тока, давления, наложением магнитного поля или температуры. Минусом полупроводниковых лазеров считается небольшая мощность на выходе (средние значения мощности – примерно 10 Вт, импульсная – 10 Вт), поскольку она сужает круг их использования в СДЗ (системах дистанционного зондирования). ограничивающим их применение в системах дистанционного

зондирования, является малая выходная мощность (средняя мощность порядка 10 Вт и импульсная — порядка 10^9 Вт). Если рассматривать полупроводниковые лазеры из полупроводниковых лазеров в лидарных системах, в основном, находят применение только лазеры на арсениде галлия (GaAs), работающие в импульсном режиме. Эти лазеры позволяют получать излучение на длинах волн 0.84 и 0.9 мкм и обеспечивают в импульсном режиме мощности до 200 Вт при частотах повторения импульсов до 2 кГц.

Основные достоинства полупроводниковых лазеров:

- Небольшие размеры и эксплуатационная надежность конструкции;
- Большой ресурс работы активного полупроводникового элемента;
- Прямое электрическое возбуждение с возможностью быстрой перестройки за счет изменения тока;
- Широкий рабочий спектральный диапазон (0,6 – 34 мкм);
- Низкая стоимость
- Возможность импульсного и непрерывного режимов работы

Основные недостатки полупроводниковых лазеров:

- Небольшая пиковая мощность;
- Необходимость во многих случаях криогенного охлаждения;
- Большая расходимость лазерного пучка;
- Ограничение на длину волны излучения со стороны коротких длин волн;

4.5 Передающая и приемная оптика

Оптический импульс, излучаемый лазером, передается в направлении объекта зондирования через передающую оптическую систему. Оптическая система лазерного передатчика необходима для улучшения коллимации пучка и осуществления пространственной фильтрации. Во многих случаях часть импульса лазера используется для маркировки момента начала отсчета

времени и калибровки интенсивности где для задания опорного сигнала, которым нормируется полезный принимаемый сигнал в случае нестабильности параметров выходных лазерных импульсов), а также контроля длины волны лазерного излучения, когда это необходимо.

Основными элементами приемной оптики в большинстве систем дистанционного зондирования в настоящее время являются отражающие телескопы Ньютона, Кассегрена и Грегори. Размер апертуры приемника сильно зависит от характера зондируемого объекта и расстояния до него.

Наибольшие требования к размерам апертуры приемника предъявляются при лазерном зондировании атмосферы и зондировании с космических аппаратов.

4.6 Приемники излучения

Излучение, составленное приемной оптикой проходит спектроанализатор, а затем попадает в блок фотодетектирования. Данный прибор предназначен для выделения промежутка длин волн, в котором проводится мониторинг, и соответственно отсеки фонового излучения на других длинах волн. Спектроанализатор представляет собой моно- или полихроматор, набор узкополосных фильтров.

Существует два способа приема лазерных эхо-сигналов:

- 1) Энергетический или некогерентный метод. Его суть в реакции фотоприемного устройства только на энергию, не воспринимая информацию о фазе несущей частоты излучения;
- 2) Гетеродинный метод (метод фотосмешения), использующий когерентные методы приема.

Используя энергетический метод приема возможны два режима работы приемного устройства:

- Первый режим соответствует слабому сигналу, который отразился от объекта зондирования, т.е. когда на фотоприемное устройство приходит

разряженный поток отдельных фотонов. За время импульса на фотоприемнике регистрируется ряд коротких импульсов отдельных фотонов. Обработка такого сигнала очень трудна.

- Второй режим соответствует приему отраженного сигнала, когда фотоприемное устройство регистрирует полную огибающую эхо-импульса.

Применяя гетеродинный способ приема важно иметь высокостабильный лазерный гетеродин. Сигнал лазера от объекта зондирования совместно с помехами поступает на оптическую систему приемника. Далее сигнал поступает на вход фотодетектора. При этом одновременно на фотодетектор поступает гетеродинное излучение опорного ОКГ (гетеродина). В итоге влияния на фотодетектор принятой реализации эхо-сигнала и опорного сигнала в фотоприемнике оказываются колебания комбинационных частот. Одно из данных колебаний улучшается с помощью фильтрации и усиления. С помощью этого способа приема сигнала возможно исключения воздействия тепловых шумов и довести чувствительность приемника до квантового предела. Полученный сигнал попадает в устройство. Там происходит его сравнение с значением порога. При практическом осуществлении этого способа встречаются большие трудности. Фазовые фронты сигнала и излучения гетеродина обязаны совпадать на фотосмесителе, передающий лазер должен быть одномодовым, а приемное устройство — должно содержать систему автоподстройки гетеродина.

В настоящий момент большинство лидаров используют прямое фотодетектирование.

При выборе типа фотоприемника в большинстве случаев решающим фактором является длина волны излучения, на которой принимается сигнал. Фотоприемник является важной составной частью лидара, определяющей его основные технические параметры. Назначение лидара и характер регистрируемого лидаром лазерного сигнала должны определять выбор типа фотоприемника.

4.7 Схемы дистанционного лазерного зондирования

Существует две основные схемы дистанционного зондирования – бистатическая и моностатическая. Наибольшее распространение получила моностатическая схема зондирования с совмещенными источником и приемником излучения. В данной схеме передатчик и приемник устанавливают в одном месте, на едином поворотном устройстве, которое позволяет изменять зенитный угол и азимут зондирования.

Схемы зондирования, изображенные на рисунке (4.3), требуют использования импульсного лазерного излучения. Если в этих схемах применять непрерывное немодулированное лазерное излучение, то при зондировании атмосферы, приемная система будет регистрировать эхо-сигналы, одновременно поступающие из различных атмосферных слоев. Расшифровка такой смеси эхо-сигналов почти невозможна.

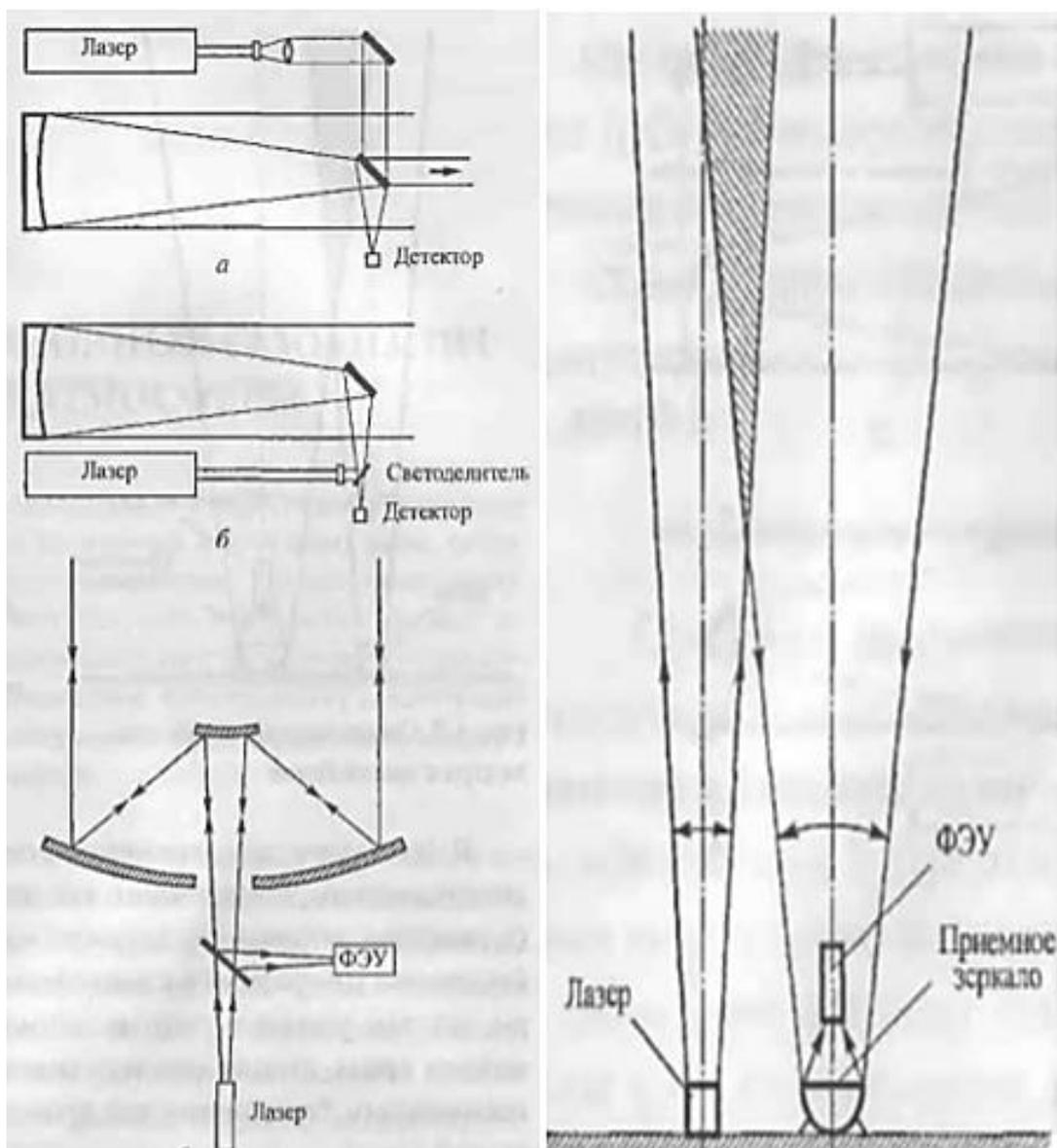


Рисунок 4.3 - Схемы **лидарного** зондирования. (Слева) а – раздельное распространение луча лазерного передатчика и принимаемого излучения. б, в – два варианта отражения луча лазерного передатчика от зеркала приемное оптической системы. Справа – схема зондирования лидара с малой базой.

Бистатическая схема зондирования изображена на рисунке (4.4). Характерной особенностью данной схемы – большая база между источником и приемником. Оптические оси источника и приемника в такой схеме зондирования могут пересекаться на разных высотах под разными углами. Если зафиксировать высоту пересечения, то приемник будет получать информацию в виде рассеянного излучения от одного и того же

локализованного объема атмосферы. Такие возможности позволяют непрерывно следить за динамикой процессов в выбранном объеме. При непрерывном изменении наклона оптической оси источника (приемника) можно изменять высоту зондирования и проводить исследования вертикального профиля параметров атмосферы. При зондировании по бистатической схеме предпочтительно пользоваться лазерами с непрерывным излучением.

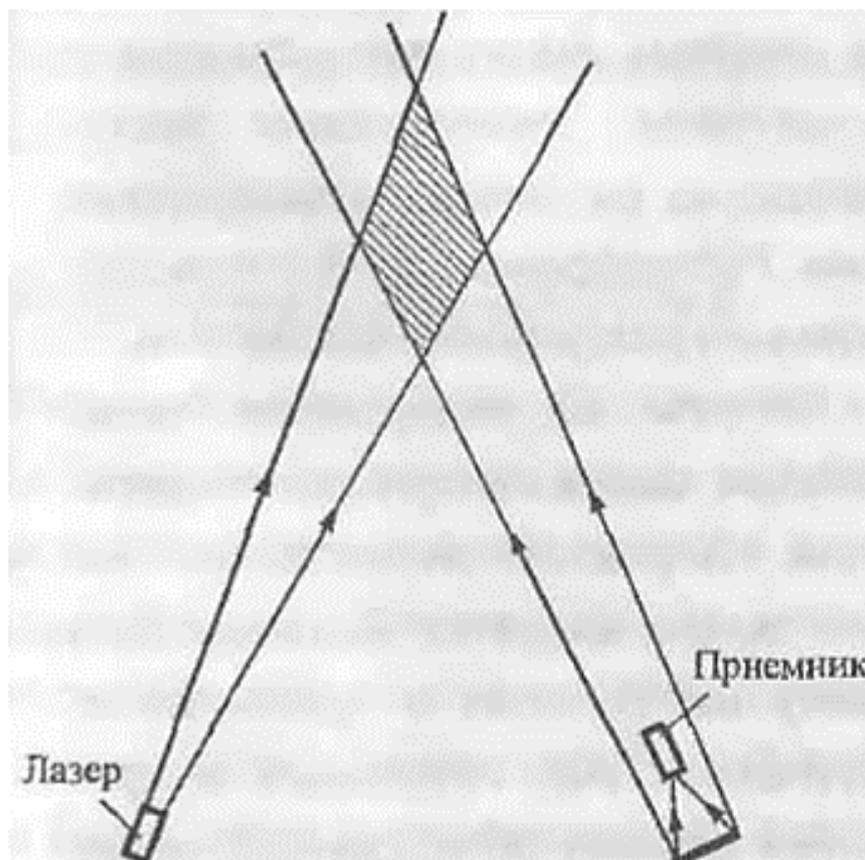


Рисунок 4.4 - Бистатическая схема **лидарного** зондирования

ГЛАВА 5. СОВРЕМЕННЫЕ ЛИДАРЫ

Такая задача, как определение прозрачности атмосферы сегодня, требует от моделей нескольких важных условий, которые разработчики должны учитывать. Первое - это точность. Нельзя говорить о точных прогнозах, предполагая большую погрешность уже на этапе получения экспериментальных данных. Во-вторых, это стабильность. Прибор должен быть готов к измерению характеристик атмосферы в любых погодных условиях. В-третьих, это многозадачность. Многие устройства стоят дорого поэтому удобнее и дешевле использовать одно устройство для получения данных о разных компонентах, чем покупать отдельный лидар для каждого из них. Однако вопрос цены не является приоритетным в данной работе, главное то, какие устройства используются сегодня в мире. Первые 4 прибора используются в научном парке Санкт-Петербургского государственного университета для измерения климатических параметров. Характеристики устройств заимствованы с сайта университета.

5.1 ЛИДАР мод. СНМ15к

На рисунке 5.1 представлен ЛИДАР модели СНМ15к. Он имеет высокое пространственное разрешение (5м) и дальность действия при таком разрешении до 15 километров. Принцип действия основан на явлении обратного рассеяния лазерного излучения на атмосферном аэрозоле. Данный лидар очень многозадачен и применим для изучения аэрозолей туманов, облаков, определения высоты пограничного слоя и вертикальной видимости.

В лидаре реализован стандарт IP65, то есть его корпус защищён от попадания пыли и может работать в практически любую погоду. Оптика защищена от запотевания и образования инея.



Рис. 5.1 - ЛИДАР мод. CHM15k

Основные характеристики:

- Высотный диапазон – 5 м-15 км
- Вертикальное разрешение – 5 м
- Время измерения – 2 сек-10 мин, стандартно 15 сек, 20 сек или 60 сек
- Мишень – аэрозоль и облака
- Измеряемые параметры – рассеянный назад лазерный импульс, высота нижней границы облачности до 6-ти слоёв
- Принцип измерений – лидарный

Параметры лазерной оптики:

- Источник – лазер, класс защиты 1М согласно EN 60825-1
- Длина волны – 1064 нм
- Пропускная способность – 0.1 нм
- Продолжительность импульса – 1...5 наносекунд

- Частота повторения импульсов – 5-7 КГц
- Диаметр пучка ($1/e^2$) – расширяется до 90 мм
- Лазерная дивергенция – <0.3 мрад
- Энергия в импульсе – 8 мкДж

Параметры электроники:

- Номинальное напряжение – 230 VAC, ± 10 %
- Частота – 50 Гц
- Максимально потребляемая мощность – 0.8 кВт

Условия эксплуатации:

- Температурный диапазон – от -40 °C до $+50$ °C
- Относительная влажность – от 0 % до 100 %

Вес и габариты: 70 кг, 50 см*50 см*155 см

5.2 Микроволновый радиометр RPG-НАТPRO

На рисунке 5.2 представлен микроволновый радиометр RPG-НАТPRO. Данный радиометр предназначен для непрерывного фиксирования изменения климатических показателей. Также прибор может восстанавливать интегральное содержание водяного пара и водозапаса облаков, включая снежные тучи.

Область применения данного лидара:

- Определение профиля температуры, влажности и жидкой воды в тропосфере
- Профили температуры пограничного слоя с высоким разрешением, большим, чем у шара-пилота
- Входные данные для погодных и климатических моделей (усвоение данных)
- Сверхкраткосрочная устойчивость атмосферы: экстремальные метеоусловия

- Обнаружение температурной инверсии, тумана, загрязнения воздуха
- Абсолютная калибровка радаров облаков
- Корректировка влажной и сухой задержки в приложении интерферометрии со сверхдлинной базой
- Мониторинг водяного пара для астрономических объектов



Рис. 5.2 - Микроволновый радиометр RPG-HATPRO

Помимо этого, он укомплектован метеостанцией и GPS датчиком и, как и предыдущий готов работать при любых погодных условиях.

5.3 Солнечный автоматический фотометр CimelCE-318

На рисунке 5.3 представлен солнечный автоматический фотометр CimelCE-318.



Рис. 5.3 - Солнечный автоматический фотометр CimelCE-318

Данная установка может использоваться для измерения солнечной радиации и работает на 8 длинах волн видимого спектра. Яркость неба в

альмукантарате и в главной плоскости. 940 нм канал используется для определения содержания водяного пара в атмосфере в виде осажденной воды.

Оптическая толщина вычисляется на основе закона Бугера через ослабление луча на каждой длине волны. Релеевское рассеяние, поглощение озоном и загрязняющими газами отбрасывается, оставляя только оптическую толщину аэрозолей.

Основные характеристики:

Обработка данных: Данные по мере накопления передаются по сети в центр обработки в Годдард (GSFCNASA), где они по единой методике калибруются и обрабатываются, затем выставляются на сайте сети АЭРОНЕТ

Рабочие длины волн: 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 и 1020 нм

Спектральная полуширина: 10 нм

Угол приема солнечного коллиматора: 1.2°

Детектор: Кремниевый фотодетектор

Метод сканирования: Сканирование по углу места и азимуту

Погрешность сканирования: 0.1°

Энергопитание: Внешняя батарея и солнечная панель

Области применения:

- мониторинг атмосферного аэрозоля и водяного пара
- Исследование микрофизических характеристик аэрозоля (альbedo однократного рассеяния, распределение частиц по размерам, динамика роста и исчезновения частиц)
- При использовании данных глобальной сети можно оценить динамику глобального аэрозольного загрязнения.

5.4 Анализатор парниковых газов GGA-24EP компании LosGatosResearch

На рисунке 5.4 представлен анализатор парниковых газов GGA-24EP компании LosGatosResearch.



Рисунок 5.4 - Анализатор парниковых газов GGA-24EP компании LosGatosResearch

Автоматический прибор, предназначенный для одновременного измерения концентрации метана (CH_4), углекислого газа (CO_2), и водяного пара (H_2O).

Принцип действия газоанализатора основан на вне осевой интегральной внутрирезонаторной лазерной спектроскопии (Off-axis ICOS). Концентрации рассчитываются путем определения интегрального поглощения в линиях CH_4 , CO_2 и H_2O .

Новая серия с улучшенными рабочими характеристиками компании LGR “Enhanced Performance” с внутренней системой контроля температуры обеспечивает хорошую точность, линейность, достоверность и дрейф.

Основные характеристики:

Общая погрешность < 0,25% от показания (без калибровки, модель серии EP)

Максимальный дрейф

- 15 минутное усреднение при STP (стандартном давлении и температуре) за 24 часа

- CH₄: 0,8 ppb
- CO₂: 120 ppb
- H₂O: 100 ppm или 1% от показания, в зависимости от того, какое показание больше.

Диапазон измерений

- CH₄: 0.1-25 ppm
- CO₂: 200-4000 ppm
- H₂O: 7000-70000 ppm

Рабочий диапазон

- CH₄: 0-1000 ppm
- CO₂: 0-20000 ppm
- H₂O: 0-70000 ppm

Точность (1σ, 5 сек / 100 сек)

- CH₄: 1 ppb / 0.3 ppb
- CO₂: 150 ppb / 50 ppb
- H₂O: 100 ppm / 30 ppm

Время ответа

Время прохождения потока через измерительную ячейку:

- <0.1 сек. (требуется внешний насос для ответа в 10 Гц);
- 10 сек. (со стандартным вакуумным насосом).

Эксплуатационные требования

- Влажность окружающего воздуха: < 98% RH без конденсации.
- Рабочая температура: 0-45 °C.

5.5 Газоанализатор CO

Анализатор CO компании LosGatosResearch (модель CO-23r) осуществляет непрерывные измерения уровней окиси углерода в окружающей среде в режиме реального времени.

Принцип действия данного прибора основан на внеосевой интегральной внутрирезонаторной лазерной спектроскопии (Off-axis ICOS).

Помимо определения концентраций угарного газа анализатор исследует полосу поглощения водяного пара, что позволяет получить значения концентраций CO для сухого воздуха.

Область применения: Прибор предназначен для решения множества задач таких, как мониторинг угарного газа в воздухе, измерения вихревых ковариационных потоков, измерения камеральных потоков и диагностику процесса сгорания топлива. Анализатор также подходит для полевых измерений.

Основные характеристики:

Общая погрешность < 1% от показания

Максимальный дрейф

- 15 минутное усреднение при STP (стандартном давлении и температуре) за 24 часа

- CO: 0.1 ppb

- H₂O: 50 ppm или 1% от показания, в зависимости от того, какое показание больше

Диапазон измерений

- (соответствует всем характеристикам)

- CO: 5-4000 ppb

Рабочий диапазон

- CO: 0-10 ppm

Точность (1σ, 1 сек / 3 мин)

- CO: 0.15 ppb / 0.050 ppb
- H₂O: 50 ppm / 10 ppm

Время ответа

- время прохождения потока через измерительную ячейку:
- <0.1 сек. (требуется внешний насос)
- 10 сек. (со стандартным вакуумным насосом)

Эксплуатационные требования

- Влажность окружающего воздуха: < 98% RH без конденсации;
- Рабочая температура: 0-45°C .

ГЛАВА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ СЛАБОГО СИГНАЛА

Обработка лидарных данных выполняется на основе решения лидарного уравнения, которое связывает сигнал обратного рассеяния с коэффициентом ослабления σ и коэффициентом обратного рассеяния β .

В случае слабо замутненной оптически однородной атмосферы, когда коэффициенты ослабления и обратного рассеяния постоянны вдоль трассы зондирования, лидарное уравнение можно записать в виде:

$$P_i = P_* + \frac{B}{R_i^2} \exp(-2\sigma R_i) \quad (5.1)$$

где

$$B = A\beta \quad (5.2)$$

A – постоянная лидара;

β – коэффициент обратного рассеяния;

σ – коэффициент ослабления;

P – мощность сигнала обратного рассеяния;

P_* – фоновая засветка;

R_i – расстояние между лидаром и $i^{\text{-}M}$ рассеивающим элементом.

Задача определения коэффициента ослабления состоит в том, чтобы найти неизвестную постоянную σ с минимальной погрешностью. При этом необходимо найти неизвестные постоянные P_* , B .

6.1 Обработка эхо-сигналов без итерационного процесса

В данном случае на примере уравнения 5.1 можем рассмотреть уравнения:

$$P_{i+1} = P_* + \frac{B}{R_{i+1}^2} \exp(-2\sigma R_{i+1}) \quad (5.3)$$

$$P_{i+2} = P_* + \frac{B}{R_{i+2}^2} \exp(-2\sigma R_{i+2}) \quad (5.4)$$

С учетом всех описанных выше уравнений получаем:

$$\frac{(P_i - P_*)R_i^2}{(P_{i+1} - P_*)R_{i+1}^2} = \frac{(P_{i+1} - P_*)R_{i+1}^2}{(P_{i+2} - P_*)R_{i+2}^2} = \exp(2\sigma h) \quad (5.5)$$

Таким образом прологарифмировав уравнение мы можем посчитать коэффициент ослабления σ .

ГЛАВА 7. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

На рисунке 7.1 представлен эхосигнал, полученный по экспериментальным данным лидарного зондирования.

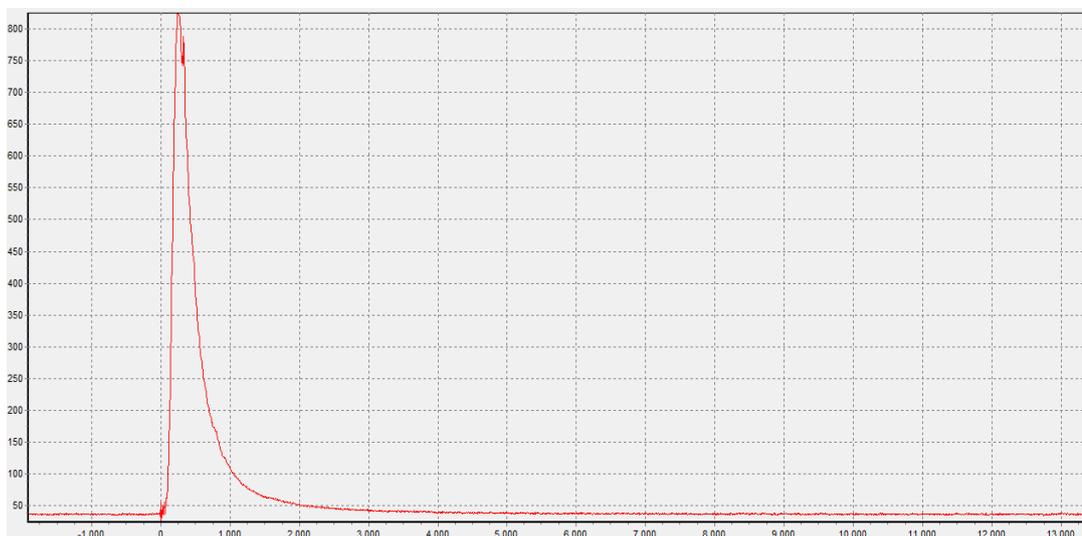


Рисунок 7.1 - Эхо-сигнал лидарного зондирования

В первом общепринятом методе для обработки эхо-сигнала и вычисления коэффициента ослабления σ была использована формула (5.7). После обработки результатов получился данный график

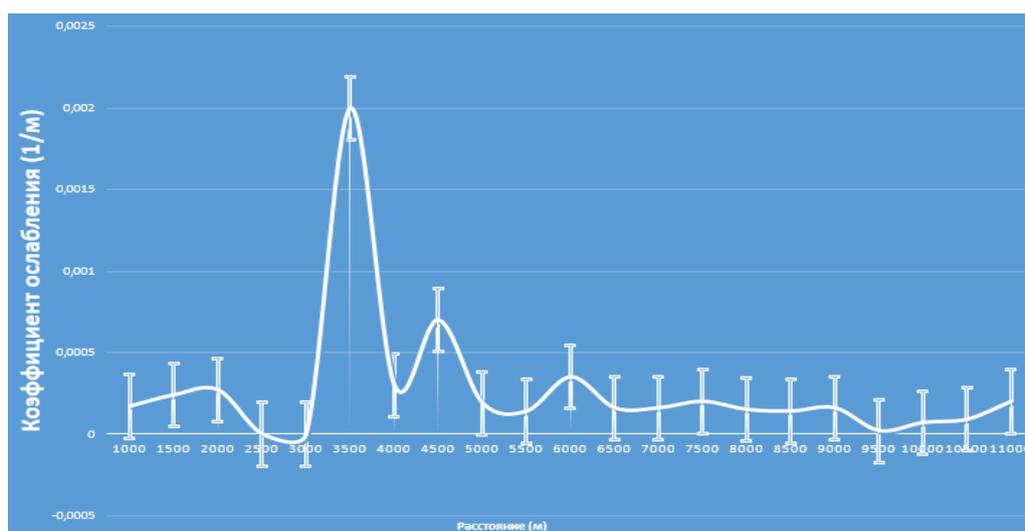


Рисунок 7.2 - Зависимость коэффициента ослабления от расстояния.

Общепринятый метод

Среднее значение коэффициента ослабления при использовании данного метода: $\sigma = (0,27 \pm 0,02) 10^{-3} \text{ м}^{-1}$. Это соответствует счетной концентрации $N = (27 \pm 2) \text{ ед/см}^3$.

В предлагаемом методе экспериментальные значения лидарного зондирования подставляются в формулу 7.1

$$\frac{P_2 - P_1}{P_4 - P_3} = \frac{R_4^2 R_3^2 (R_3^2 \exp(-2\sigma R_4) - R_4^2 \exp(-2\sigma R_3))}{R_2^2 R_1^2 (R_1^2 \exp(-2\sigma R_2) - R_2^2 \exp(-2\sigma R_1))} \quad (7.1)$$

В результате расчетов находится коэффициент ослабления σ . На рисунке 7.3 представлена ее зависимость от расстояния. Среднее значение коэффициента ослабления при использовании предлагаемого метода $\sigma = (0,36 \pm 0,04) 10^{-3} \text{ м}^{-1}$. Это соответствует счетной концентрации $N = (36 \pm 4) \text{ ед/см}^3$.

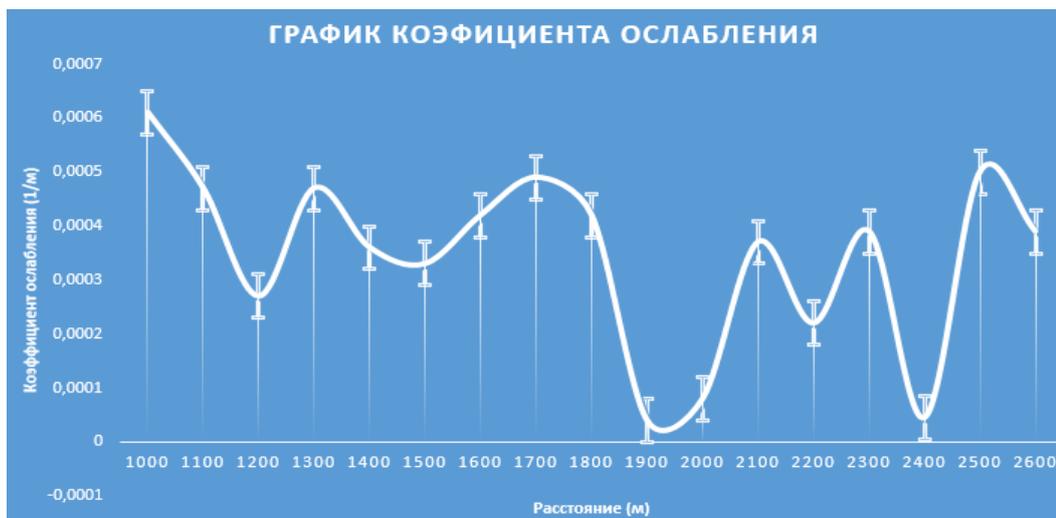


Рисунок 7.3 Зависимость коэффициента ослабления от расстояния.

Предлагаемый метод

При сравнении результатов полученных двумя различными методами значения концентраций частиц существенно отличаются. Результат, полученный предлагаемым методом максимально приближен, в пределах погрешности, к значению концентрации частиц, измеренной контактным методом, который проводился параллельно с лидарным зондированием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования были проанализированы два метода обработки результатов измерений. Получено, что общепринятый метод характеризуется достаточно большой погрешностью на близких расстояниях к приемнику, но на дальних расстояниях погрешность маленькая. Однако на больших расстояниях в **слабо замутненной** атмосфере эхо-сигнал очень мал. Его значение сопоставимо с фоновой засветкой, что приводит к некорректности задачи.

Предлагаемый метод дает результаты с достаточно высокой точностью и малой погрешностью на близких расстояниях от лидарной системы, что дает возможность получения быстрого и оперативного результата.

ВЫВОД

Таким образом, новый предлагаемый метод дает высокую скорость и качество обработки получаемых сигналов, что можно применить в различных направлениях техники и технологии.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авдеев С.А. Заболевания дыхательных путей. Фармацевтический вестник № 5, 2000.
- [2] Агишев Р.Р. Защита от фоновой помехи в оптико-электронных системах контроля состояния атмосферы. М.: Машиностроение, 1994.
- [3] Агишев Р.Р. Искажающее влияние фона дневного неба на достоверность восстановления оптических параметров атмосферы. Известия ВУЗов: Приборостроение, 1991.
- [4] Агишев Р.Р. Искажающее влияние фона дневного неба на достоверность восстановления оптических параметров атмосферы. Известия ВУЗов: Приборостроение, 1991
- [5] Агишев Р.Р. Лазерное зондирование окружающей среды: Методы и средства. М.: Физматлит, 2018
- [6] Агишев Р.Р., Айбатов Л.Р., Власов В.А., Сагдиев Р.К. Дистанционное бесконтактное обнаружение утечек аммиака. Оптика атмосферы и океана, 1999.
- [7] Агишев Р.Р., Власов В.А. Оценка эффективности средств дистанционного зондирования
- [8] Агишев Р.Р., Сагдиев Р.К., Власов В.А. Повышение точности оптико-электронной системы пространственного мониторинга. Известия вузов: Авиационная техника, 2000.
- [9] Андреева, Е. В. Атмосфера и жизнь / Е.В. Андреева, Т.Н. Кладо. - М.: Гидрометеорологическое издательство, 1993.
- [10] Арсеньев В.В., Давыдов Ю.Т. Приемные устройства оптического диапазона. М.: МАИ, 1999.
- [11] Бажин Н.М. Метан в окружающей среде. 2000
- [12] Белостоцкий Б.П., Любавский Ю.В., Овчинников В.М. Основы лазерной техники. Св. радио, 1972

[13] Богородский В.В., Кропоткина М.А. Дистанционное обнаружен нефтяных загрязнений вод ИК-лазером. Гидрометеиздат, 1975.

[14] Борисова Н.Ф., Василевский К.П., Евстифьев В.В. Молекулярное поглощение атмосферы в областях частот рубинового лазера. V Всесоюзный симпозиум. Ч. 2. – Томск. 1978

[15] Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы: Пер. с англ. М.: Мир 1988.

[16] Будник А.П., Лунев В.П. Свечение ночного неба. Обнинск, 2008

[17] Бункин А.Ф., Власов Д.В., Миркамилов Д.М. Физические основы лазерного аэрозондирования поверхности Земли. Ташкент: Изд-во «ФАН» УзССР, 1987.

[18] Гусакова Н. В. Химия окружающей среды Ростов-на-Дону: Феникс, 2004, 192 с. ISBN 5-222-05386-5.

[19] Донченко В.К., Самуленков Д.А., Мельникова И.Н. и др. Лазерные системы: возможности, постановка задач, результаты. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10, №3.

[20] Захаров В.М., Костико О.К., Хмелевцов С.С. Лидары и исследование климата. Гидрометеиздат 1990.

[21] Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М. Сов. Радио и связь, 1981.

[22] Зуев В.Е., Землянов А.А., Копытин Ю.Д. и др. Мощное лазерное излучение в атмосфере. Новосибирск: Наука, 1984.

[23] Зуев В.Е., Кабанов М.В. Оптика атмосферного аэрозоля. Л. Гидрометеиздат, 1987.

[24] Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. Спектроскопия атмосферы. Гидрометеиздат, 1977.

[25] Иванов В.И., Малевич И.А., Чайковский А.П. Многофункциональные лидарные системы. Минск: Университетское, 1986.

- [26] Кондратьев К.Я., Васильев О.Б., Ивлев Л.С. и др. Влияние аэрозоля на перенос излучения: возможные климатические последствия. Изд. ЛГУ, 1973.
- [27] Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Позднякова Д.В. Атмосферные аэрозоль. Л: Гидрометеиздат, 1983.
- [28] Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В. Аэрозольные модели атмосферные. М: Наука, 1981.
- [29] Коротких Д. И., Потапова И. А. Особенности влияния фоновой засветки при зондировании слабо замутненной атмосферы. 2021
- [30] Мак-Картни Э. Оптика атмосферы. М: Мир, 1979.
- [31] Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
- [32] Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб: Гидрометеиздат, 2000.
- [33] Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. Пер. с англ. М.: Мир 1979.
- [34] Назаров И.М., Николаев А.Н., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
- [35] Петрянов, И. В. Вездесущие аэрозоли / И.В. Петрянов, А.Г. Суругин. - М.: Педагогика, 1989.
- [36] Петрянов-Соколов, И. С. Аэрозоли: моногр. / И.С. Петрянов-Соколов, А.Г. Суругин. - М.: Наука, 1989.
- [37] Русин И.Н. Основы учения об атмосфере. СПб СпецЛит 2018.
- [38] Сафонов М.С., Лисичкин Г.В. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова ТОМ 7, №7, 2001.
- [39] Хриган А.Х. Физика атмосферы. М.: Изд-во МГУ, 1986.
- [40] Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова 2006.