

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ

В.В. ЗУЕВ

ЛИДАРНЫЙ
КОНТРОЛЬ
СТРАТОСФЕРЫ

50165



НОВОСИБИРСК
"НАУКА"
2004

УДК 551.51 : 551.510.534 : 551.590.3
ББК 22.344
3-93

Зуев В.В. Лидарный контроль стратосферы. — Новосибирск: Наука, 2004. — 307 с.

ISBN 5-02-032419-1.

Излагаются фундаментальные основы дистанционного лазерного зондирования стратосферы. Дано описание структуры, состава, фотохимии, радиационного режима и динамики стратосферы. Рассмотрены основные эффекты взаимодействия лазерного излучения с атмосферой и принципы лазерного зондирования стратосферы. Описаны лидарные методы и аппаратура для определения вертикального распределения аэрозольных параметров, озона, температуры и влажности в стратосфере. Проанализированы и обобщены результаты многолетних исследований проблемы лазерного зондирования стратосферного аэрозольного слоя, озоносферы, влажности и температуры стратосферы, полученные автором в Институте оптики атмосферы СО РАН на созданной под его руководством уникальной Сибирской лидарной станции, дополненные данными исследований, проведенных как в России, так и за рубежом.

Монография представляет интерес для специалистов в области лазерного зондирования атмосферы, аэронавтики, климатологии и экологии, а также для аспирантов и студентов.

Табл. 28. Ил. 131. Библиогр.: 459 назв.

Zuev V.V. Lidar monitoring of the stratosphere. — Novosibirsk: Nauka, 2004. — 307 p.

Fundamentals of remote laser sensing of the stratosphere are presented. The structure, composition, photochemistry, radiative regime, and dynamics of the stratosphere are described. The main effects of interaction of laser radiation with the atmosphere and principles of stratospheric laser sensing are considered. Lidar methods and instrumentation for determining the vertical distribution of aerosol parameters, ozone, temperature, and humidity in the stratosphere are outlined. The results of multiyear studies of the problem of laser sensing of stratospheric aerosol layer, ozonosphere, and humidity and temperature of the stratosphere, obtained by the author in the Institute of Atmospheric Optics SB RAS at unique Siberian Lidar Station created under his leadership, supplemented with data of studies performed both in Russia and abroad, are analyzed and summarized.

The monograph is of interest for specialists in the field of atmospheric laser sensing, aeronomy, climatology, and ecology, as well as for under- and post-graduate students.

Tab. 28. Il. 131. Ref. 459.

Рецензенты

доктор физико-математических наук *В.П. Аксенов*

доктор физико-математических наук *К.М. Фирсов*

доктор технических наук *А.А. Тихомиров*

Утверждено к печати Ученым советом Института оптики атмосферы СО РАН



Издание осуществлено при финансовой поддержке

Российского фонда фундаментальных исследований по проекту 04-05-78043

ТП-05-1-№ 108

© В.В. Зуев, 2004

© Российская академия наук, 2004

© Оформление. «Наука». Сибирская
издательская фирма, 2004

ISBN 5-02-032419-1

Оглавление

Предисловие	3
Введение	6

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЯ СТРАТОСФЕРЫ	9
---	---

Глава 1

Общие сведения о стратосфере	11
1.1. Термическая структура земной атмосферы	11
1.2. Газовый состав и химия стратосферы	16
1.2.1. Общая характеристика газового состава	16
1.2.2. Газофазная химия стратосферы	18
1.3. Стратосферный озон	22
1.3.1. Вертикальная структура озоносферы	23
1.3.2. Гетерофазные процессы разрушения стратосферного озона в присутствии полярных стратосферных облаков	26
1.3.3. Пространственно-временное распределение поля общего содержания озона	29
1.4. Водяной пар в земной атмосфере	42
1.4.1. Основные единицы, используемые для оценки содержания водяного пара в атмосфере	42
1.4.2. Распределение водяного пара в земной атмосфере	43
1.4.3. Модели высотного распределения водяного пара	45
1.5. Стратосферный аэрозоль	47
1.5.1. Стратосферный аэрозольный слой	47
1.5.2. Конденсационные облачные образования	49
1.6. Радиационные процессы в стратосфере	53
1.6.1. Радиационное нагревание и охлаждение атмосферы	56
1.6.2. Влияние стратосферного аэрозоля на радиационный режим атмосферы	57
1.7. Общая характеристика динамических процессов в стратосфере	63
Библиографический список	69

Глава 2

Основные эффекты взаимодействия лазерного излучения с атмосферной средой, используемые для лазерного зондирования стратосферы	76
--	----

2.1. Общая характеристика взаимодействия лазерного излучения с атмосферой	76
2.2. Рэлеевское рассеяние света	79
2.3. Комбинационное рассеяние света	81
2.4. Аэрозольное рассеяние и поглощение	85
2.5. Молекулярное поглощение	92
Библиографический список	96

Глава 3

Общие принципы лазерной локации	98
3.1. Уравнение лазерного зондирования	98
3.2. Геометрический фактор лидара	104
3.3. Возможные искажения лидарной информации при регистрации	107
3.4. Методы сокращения динамического диапазона лидарного сигнала	113
3.4.1. Схема механической отсечки ближней зоны лидарного сигнала	116
3.4.2. Фотоэлектронные методы сокращения динамического диапазона лидарных сигналов	118
3.5. Общие схемы построения лидаров	123
3.5.1. Многоканальные лидарные станции	127
3.5.2. Сибирская лидарная станция	127
Библиографический список	131

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ЛАЗЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ СТРАТОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО, РЭЛЕЕВСКОГО И КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ	135
---	------------

Глава 4

Лазерные методы и средства для дистанционного контроля стратосферного аэрозоля	137
4.1. Лидарные методы дистанционного определения аэрозольной стратификации в стратосфере	137
4.1.1. Метод калибровки лидарных сигналов по коэффициентам обратного молекулярного рассеяния	137
4.1.2. Калибровка лидарных сигналов аэрозольного и рэлеевского рассеяния по сигналам комбинационного рассеяния	141
4.2. Определение оптических и микроструктурных параметров аэрозолей из данных многочастотного лазерного зондирования	143
4.2.1. Качественный анализ спектра размеров аэрозольных частиц по параметру Ангстрема	144

4.2.2. Методы восстановления концентрации и спектра размеров аэрозольных частиц из данных многочастотного лазерного зондирования	145
4.3. Поляризационные методы исследований аэрозольных образований с частицами несферической формы	149
4.4. Лидары для дистанционного контроля стратосферного аэрозоля	150
4.4.1. Многочастотные аэрозольные лидары	152
4.4.2. Лидары комбинационного рассеяния	156
Библиографический список	157

Глава 5

Результаты лидарного контроля стратосферного аэрозольного слоя	160
5.1. Временной ход интегральных характеристик стратосферного аэрозольного слоя	160
5.2. Вулканогенные возмущения стратосферного аэрозольного слоя	167
5.2.1. Трансформация спектра размеров вулканогенных аэрозольных частиц	171
5.2.2. Процессы седиментации и релаксации вулканогенного возмущения	176
5.3. Вертикальная структура стратосферного аэрозольного слоя в переходный квазифоновый и фоновый периоды	181
5.4. Вертикальная корреляция стратосферного аэрозольного слоя	188
5.5. Конденсационные облачные образования в стратосфере	194
Библиографический список	204

Глава 6

Лазерный термический контроль стратосферы с использованием эффектов обратного рэлеевского и комбинационного рассеяния	209
6.1. Определение температурной стратификации на основе калибровки лидарных сигналов	209
6.1.1. Определение температурной стратификации по рэлеевскому рассеянию	209
6.1.2. Определение температурной стратификации по сигналам колебательно-вращательного комбинационного рассеяния	213
6.2. Определение температуры по сигналам чисто вращательного комбинационного рассеяния	214
6.3. Результаты лидарных исследований термического состояния стратосферы	216
6.4. Внезапные стратосферные потепления	219
6.5. Внутренние гравитационные волны	221
Библиографический список	224

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СТРАТОСФЕРНЫХ ГАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИДАРНОГО МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ	227
--	------------

Глава 7

Лидарный метод дифференциального поглощения	229
7.1. Математический формализм лидарного метода дифференциального поглощения	229
7.2. Чувствительность метода дифференциального поглощения	231
7.3. Проблема некорректности восстановления профиля концентрации атмосферного газа из лидарных данных методом дифференциального поглощения	234
7.4. Влияние нелинейных искажений лидарных сигналов при фоторегистрации на результаты восстановления профилей концентраций стратосферных газов	240
Библиографический список	242

Глава 8

Лазерное зондирование влажности стратосферы лидарным методом дифференциального поглощения: проблемы, возможности и перспективы	244
8.1. Этапы развития лазерного зондирования атмосферной влажности лидарным методом дифференциального поглощения	244
8.2. Влияние ширины линии зондирующего излучения на результаты зондирования влажности лидарным методом дифференциального поглощения	246
8.3. Условия минимизации систематических погрешностей лазерного зондирования влажности лидарным методом дифференциального поглощения с учетом ширины линии лазерного излучения	249
8.3.1. Минимизация температурных вариаций	249
8.3.2. Оценки влияния нестабильности длины волны лазерного излучения	251
8.3.3. Влияние сдвига центра линии поглощения зондируемого газа давлением воздуха	252
8.4. Влияние доплеровского уширения обратно рассеянного сигнала	254
8.5. Потенциальные возможности лазерного зондирования стратосферной влажности лидарным методом дифференциального поглощения	260
8.5.1. Возможности лазерного зондирования стратосферной влажности с поверхности Земли	260

8.5.2. Возможности лазерного зондирования влажности в стратосфере с помощью лидаров самолетного и космического базирования	262
Библиографический список	265
<i>Глава 9</i>	
Дистанционный контроль стратосферного озона лидарным методом дифференциального поглощения в спектре УФ-диапазона	268
9.1. Этапы развития лазерного дистанционного зондирования атмосферного озона	268
9.2. Проблема "аэрозольной коррекции"	272
9.3. Депрессия стратосферного озона после извержения влк. Пинатубо	275
9.4. Вертикально-временная структура невозмущенной озоносферы	277
9.5. Тонкая структура вертикальных озоновых профилей в стратосфере	279
9.6. Вертикальная корреляция стратосферного озонового слоя	282
9.7. Климатология и тренды стратосферного озона	284
Библиографический список	291
Заключение	295
Библиографический список	297

Научное издание

Зуев Владимир Владимирович

ЛИДАРНЫЙ КОНТРОЛЬ СТРАТОСФЕРЫ

Редактор *А.М. Самсоненко*
Художественный редактор *Л.В. Матвеева*
Художник *И.С. Попов*
Технический редактор *Н.М. Остроумова*
Корректоры *И.Л. Малышева, Л.А. Акушева*
Оператор электронной верстки *Н.П. Камписемко*

Изд. лиц. № 020297 от 23.06.97. Сдано в набор 02.08.04. Подписано в печать 15.11.04.
Бумага ВХИ. Формат 60 × 90 1/16. Офсетная печать. Гарнитура Times ET. Усл. печ. л. 19,25.
Уч.-изд. л. 18,5. Тираж 400 экз. Заказ № 304.

Сибирская издательская фирма "Наука" РАН. 630059, Новосибирск, ул. Советская, 18.
СП "Наука" РАН. 630077, Новосибирск, ул. Станиславского, 25.