

Н.Н. Шефов, А.И. Семенов, В.Ю. Хомич

ИЗЛУЧЕНИЕ ВЕРХНЕЙ
АТМОСФЕРЫ – ИНДИКАТОР
ЕЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ

Москва
ГЕОС
2006

5059/16909

N.N. Shefov, A.I. Semenov, V.Yu. Khomich

**AIRGLOW AS AN INDICATOR
OF THE UPPER ATMOSPHERIC
STRUCTURE AND DYNAMICS**

Moscow
GEOS
2006

УДК 550.388
ББК 26.21
Ш 69

Н.Н. Шефов, А.И. Семенов, В.Ю. Хомич. Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики – М.: ГЕОС, 2006. 741 с.
ISBN 5-89118-330-7

В книге рассматриваются результаты исследований собственного излучения верхней атмосферы Земли, проводившихся на протяжении более полувека, целью которых является создание теории и практических методов построения моделей (алгоритмов), позволяющих производить расчет температуры, концентраций нейтральных, ионизованных компонентов, различных химически активных атомов и молекул атмосферы, определяющих процессы преобразования энергии поглощаемого УФ излучения Солнца. Большой объем исследований выполнен в Советском Союзе и России. Дано изложение методов измерений, теоретических представлений о процессах возникновения свечения атмосферы на больших высотах, эмпирических моделей вариаций различных эмиссий, а также важных активных компонентов, определяющих термический режим области мезопаузы.

Для специалистов, занимающихся проблемами физики верхней атмосферы Земли и планет, интересующихся фоновым свечением околоземного космического пространства. Может быть использована студентами и аспирантами.

**Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований по проекту № 05-05-78051**

© Н.Н. Шефов, А.И. Семенов, В.Ю. Хомич, 2006
© Институт физики атмосферы РАН, 2006
© ГЕОС, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	11
Введение.....	13
Глава 1. Состав свечения окружающего космического пространства.....	19
1.1. Спектральная структура собственного излучения и его роль в исследованиях атмосферы.....	19
1.2. Внеатмосферное излучение.....	33
1.2.1. Звездные фотометрические единицы.....	33
1.2.2. Солнце, Луна и планеты.....	35
1.2.3. Яркие звезды.....	39
1.2.4. Распределение по небу звездного компонента свечения.....	40
1.2.5. Зодиакальный свет.....	41
1.3. Ультрафиолетовое излучение Солнца.....	43
1.3.1. Излучение в области спектра 100–300 нм.....	43
1.3.2. Излучение в области спектра 20–100 нм.....	43
1.3.3. Возникновение фотоэлектронов.....	44
1.4. Пространственно-временные условия регистрации излучения.....	46
1.4.1. Геометрические соотношения для различных условий наблюдений.....	46
1.4.1.1. Условия на поверхности Земли.....	46
1.4.1.2. Распределение по небу внеатмосферных составляющих излучения.....	54
1.4.1.3. Влияние рефракции.....	55
1.4.2. Горизонтальные координаты экватора, эклиптики и галактического экватора.....	58
1.4.3. Условия сумеречных измерений.....	59
1.4.4. Измерения в направлении лимба.....	63
1.4.5. Координаты времени.....	69
1.5. Отображение вариаций характеристик атмосферы в свойствах излучения атмосферы.....	76
1.6. Гелио-геофизические условия, обуславливающие наблюдаемые характеристики излучения.....	78
1.6.1. Солнечная активность ее вариации в течение 11-летнего цикла..	78
1.6.1.1. Индексы солнечной активности.....	78
1.6.1.2. Средние функциональные зависимости 11-летней цикличности.....	80

1.6.1.3. Экспоненциальная функция.....	82
1.6.1.4. Сопоставление данных различных представлений.....	85
1.6.1.5. Обсуждение полученных аппроксимаций.....	87
1.6.1.6. Оценка параметров средней кривой 11-летнего цикла по некоторым измеряемым ее характеристикам.....	89
1.6.2. Циклические аperiodические вариации солнечной активности..	90
1.6.2.1. Характер вариаций.....	90
1.6.2.2. Корреляция с вариациями солнечных нейтрино.....	95
1.6.2.3. Спектральный состав циклических аperiodических вариаций солнечной активности и земной атмосферы.....	96
1.6.3. Многолетние вариации солнечной активности.....	102
1.6.4. Солнечно-земные связи.....	103
1.6.4.1. Магнитосфера.....	104
1.6.4.2. Экзосфера.....	105
1.6.4.3. Термосфера.....	106
1.6.4.4. Средняя атмосфера.....	107
1.6.4.5. Нижняя атмосфера.....	112
1.6.5. Характеристики геомагнитного поля, их вариации в пространстве и времени.....	117
Глава 2. Процессы возникновения собственного излучения верхней атмосферы.....	126
2.1. Процессы возбуждения и дезактивации возбужденных состояний.....	126
2.1.1. Кинетика газофазных элементарных фотохимических реакций... ..	126
2.1.2. Процессы релаксации.....	132
2.1.3. Поступательная релаксация.....	133
2.1.4. Электронная релаксация.....	135
2.1.5. Колебательная релаксация.....	135
2.1.6. Вращательная релаксация.....	141
2.2. Гидроксильное излучение.....	144
2.2.1. Развитие исследований гидроксильного излучения.....	144
2.2.2. Основные характеристики гидроксильного излучения.....	145
2.2.3. Вероятности вращательно-колебательных переходов.....	150
2.2.4. Интенсивность излучения.....	154
2.2.5. Вращательная температура.....	156
2.2.6. Колебательное распределение.....	165
2.2.7. Фотохимия.....	171
2.2.8. Образование продуктов диссоциации.....	176
2.2.9. Процессы рекомбинации атомарного кислорода.....	179

2.3. Эмиссии металлов.....	180
2.3.1. Эмиссия натрия – фотохимическое возбуждение.....	181
2.3.2. Щелочные металлы – резонансное возбуждение.....	185
2.4. Эмиссии молекулярного кислорода.....	193
2.4.1. Ультрафиолетовые системы.....	195
2.4.2. Атмосферная система.....	202
2.4.3. Инфракрасная Атмосферная система.....	208
2.5. Эмиссия 557.7 нм атомарного кислорода.....	212
2.6. Эмиссия 630 нм атомарного кислорода.....	217
2.7. Эмиссия гелия.....	221
2.8. Эмиссия атомарного водорода.....	233
2.9. Непрерывное излучение (континуум)	241
2.10. Эмиссии окиси азота.....	249
2.11. Инфракрасное излучение атмосферных атомов и молекул.....	252
Глава 3. Методы исследования излучения верхней атмосферы.....	257
3.1. Фотометрия.....	257
3.2. Спектрофотометрическая аппаратура.....	260
3.2.1. Спектрографы дифракционные.	261
3.2.1.1. Спектрографы СП-48, СП-50.	261
3.2.1.2. Спектрографическая регистрация.....	265
3.2.2. Спектрофотометры дифракционные.....	270
3.2.3. Фотометры со светофильтрами.....	272
3.2.3.1. Принципиальная схема электрофотометра.....	272
3.2.3.2. Электрофотометрическая регистрация.....	273
3.2.3.3. Градуировка фотометрических измерений.....	278
3.2.4. Интерферометры фотографические и фотоэлектрические.....	280
3.3. Приемники излучения.....	290
3.3.1. Фотографический метод.....	291
3.3.2. Фотоумножители.....	296
3.3.3. Электронно-оптические преобразователи.....	302
3.3.4. Фотоэлектрические приборы с зарядовой связью.....	306
3.4. Охлаждение приемников излучения.....	316
3.4.1. Охлаждение твердой углекислотой.....	317
3.4.2. Термоэлектрическое охлаждение.....	317
3.4.3. Бытовые холодильники.....	318
3.5. Методы и условия измерений.....	319
3.5.1. В заданных направлениях.....	319
3.5.2. Принципы регистрации волновых колебаний оптическим методом.	320

3.5.3. Сканирование по пространству (по небу).....	325
3.5.4. Сканирование по спектру.....	326
3.5.5. Использование световодов.....	326
3.5.6. Самолетные измерения.....	329
3.5.7. Ракетные измерения.....	330
3.5.8. Спутниковые измерения.....	331
3.5.9. Распыление искусственных светящихся объектов.....	336
3.6. Обработка данных измерений.....	339
3.6.1. Спектрофотометрия фотографических изображений спектров... ..	339
3.6.2. Электрофотометрическая спектрофотометрия	343
3.6.3. Фотографическая спектрофотометрия интерферограмм.....	343
3.6.4. Фотозлектрическая спектрофотометрия интерферограмм.....	350
3.6.5. Спектральный анализ временных рядов.....	355
3.6.6. Спектральные характеристики цугов ВГВ, регистрируемых в верхней атмосфере.....	364
3.7. Калибровка данных измерений.....	373
3.7.1. Калибровка характеристик спектрофотометрических приборов... ..	373
3.7.1.1. Оптические характеристики спектрографов и спектрометров.....	374
3.7.1.2. Характеристики электрофотометров.....	375
3.7.1.3. Характеристики интерферометров.....	380
3.7.2. Искусственные источники стандартного излучения.....	382
3.7.3. Естественные источники стандартного излучения.....	383
3.8. Погрешности измерений интенсивностей и температуры.....	384
3.8.1. Фотографические измерения.....	384
3.8.2. Фотозлектрические измерения.....	386
3.8.3. Интерферометрические измерения.....	386
3.8.3.1. Погрешности, обусловленные возможным уширением доплеровского профиля эмиссии за счет рассеяния в тропосфере..	386
3.8.4. Пространственная ориентация.....	390
3.8.5. Погрешности статистической обработки.....	390
Глава 4. Закономерности регулярных вариаций собственного излучения верхней атмосферы в области мезопаузы и термосферы.....	394
4.1. Модель гидроксильного излучения.....	397
4.1.1. Характеристика факторов, влияющих на вариации параметров гидроксильного излучения.....	397
4.1.2. Определения характеристик эмиссии ОН.....	398
4.1.3. Эмпирическая модель вариаций характеристик гидроксильного излучения.....	402

4.2. Модель эмиссии натрия.....	429
4.3. Модель эмиссии молекулярного кислорода.....	444
4.3.1. Модель Атмосферной системы молекулярного кислорода.....	445
4.4. Модель вариаций эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм	452
4.5. Эмиссия атомарного кислорода 630 нм	486
Глава 5. Отображение волновых процессов в атмосфере.....	506
5.1. Внутренние гравитационные волны.....	506
5.1.1. Выявление ВГВ в атмосфере.....	507
5.1.2. Модуляция характеристик эмиссий при распространении внутренних гравитационных волн через излучающий слой.....	511
5.1.3. Выбор измеряемых параметров.....	515
5.1.4. Условия проведения наблюдений.....	516
5.1.5. Результаты наблюдений основных характеристик ВГВ по вариациям вращательной температуры ОН.....	517
5.1.6. Локализация источников ВГВ в тропосфере.....	523
5.1.7. Природа источников ВГВ.....	529
5.1.8. Сезонное поведение спектрального распределения амплитуд ВГВ..	533
5.1.9. Соотношение основных механизмов возбуждения гидроксиль- ного излучения в мезопаузе.....	538
5.1.10. Вариации доплеровской температуры и интенсивности эмиссии 557.7 нм при прохождении ВГВ.....	541
5.1.11. Вариации высоты излучающих слоев гидроксила с различным колебательным возбуждением.....	546
5.1.12. Поведение температуры мезопаузы при прохождении через не ВГВ в летний и зимний сезоны.....	548
5.2. Орографические возмущения.....	551
5.2.1. Орографические возмущения в верхней атмосфере.....	551
5.2.2. Результаты измерений.....	555
5.2.3. Основные теоретические предположения.....	565
5.2.4. Анализ входящих параметров.....	568
5.2.5. Расчет пространственного распределения потока энергии.....	571
5.2.6. Численные оценки пространственного распределения.....	575
5.2.7. Влияние орографических возмущений на энергетику и структур верхней атмосферы.....	576
5.3. Планетарные волны.....	582
5.4. Серебристые облака.....	587
5.5. Пятнистая структура пространственного распределения интенсивности излучения.....	597
5.5.1. Регистрация волновых и пятнистых неоднородностей излучения верхней атмосферы.....	598

Научное издание

**Николай Николаевич Шефов
Анатолий Иванович Семенов
Владислав Юрьевич Хомич**

**ИЗЛУЧЕНИЕ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ –
ИНДИКАТОР
ЕЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ**

Редактор *М.А. Яценко*
Компьютерная верстка и оригинал-макет *Р.И. Недумов*

Подписано к печати 20.03.2006
Формат 70x100 1/16. Бумага офсет № 1, 80 г/м²
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 66,0. Тираж 400 экз.
Тип. ВТИИ. Москва, зак. № 103 с .

Издательство ПК ГЕОС
Изд. лицензия ИД № 01613 от 19.04.2000
125315, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.
Тел./факс: (095) 152-19-14, тел. 230-80-92.
Факс: (095) 953-07-60
E-mail: geos@ginras.ru