154214 8

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНОЙ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ

И.П. Чунчузов, С.Н.Куличков

ГЕОС

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ ИМ. А.М. ОБУХОВА
Российской академии наук

И.П. Чунчузов, С.Н. Куличков

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНОЙ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ

Москва
ГЕОС
2020

УДК 551.796:534.2,534-6
ББК 26.323
Ч 26

(Для книг)
1342148

Ч 26 **Чунчузов И.П., Куличков С.Н.** Распространение инфразвуковых волн в анизотропной флуктуирующей атмосфере. – М.: ГЕОС, 2020. 260 с.

ISBN 978-5-89118-817-4

В монографии излагается теория распространения инфразвуковых волн (частоты ниже 20 Гц) в реальной атмосфере с присущими ей мезомасштабными флуктуациями скорости ветра и температуры с периодами от 1 мин до нескольких часов. С помощью теории объясняются наблюдаемые в экспериментах эффекты, которые оказывают мезомасштабные флуктуации на параметры инфразвуковых волн, распространяющихся в разных слоях атмосферы: атмосферном пограничном слое, стратосфере, мезосфере и нижней термосфере.

Дается последовательное изложение теоретических и экспериментальных результатов исследования статистических свойств мезомасштабных флуктуаций скорости ветра и температуры, вызванных внутренними гравитационными волнами и вихревыми структурами в атмосфере, а также эффектов, которые оказывают эти флуктуации на дальнее распространение инфразвуковых волн в атмосфере.

Книга может быть полезна для специалистов в области акустики и оптики атмосферы, дистанционного зондирования атмосферы, динамики внутренних волн, нелинейной акустики, инфразвукового мониторинга взрывов и атмосферных штормовых явлений.

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проектам № 20-15-00004, 18-55-05002 Арм_а и 18-05-00576.

РФФИ

Издание РФФИ не подлежит продаже

УДК 551.796:534.2,534-6
ББК 26.323

© Чунчузов И.П., Куличков С.Н., 2020
© ГЕОС, 2020

Содержание

Введение **3**

Глава 1. Распространение низкочастотных звуковых волн в стратифицированной движущейся атмосфере: теория и наблюдения **6**

1.1. Уравнения акустики неоднородной движущейся среды 8

1.2. Поле точечного гармонического источника звука в атмосфере, стратифицированной по температуре и скорости ветра 15

1.3. Экспериментальное исследование поля низкочастотного гармонического источника звука в приземном слое атмосферы 46

1.4. Сравнение эксперимента по распространению звука от гармонического источника с теорией 51

Литература 60

Глава 2. Поле точечного импульсного источника звука в стратифицированном движущемся слое атмосферы **64**

2.1. Поле акустического импульса в широком приземном волноводе 67

2.2. Экспериментальное исследование влияния стратификации атмосферного пограничного слоя на распространение акустического импульса вдоль поверхности земли. Сравнение с теорией 78

2.3. Распространение акустического импульса в приземном волноводе с учетом нелинейных эффектов 91

Литература 101

Глава 3. Экспериментальное исследование эффектов рассеяния инфразвуковых волн на тонкой слоистой структуре стратосферы и мезосферы **106**

3.1. Предыстория акустических исследований тонкой слоистой структуры атмосферы 107

3.2. Изучение пространственной и временной изменчивости тонкой слоистой структуры атмосферы с помощью серии последовательных взрывов 112

3.3. Влияние тонкой слоистой структуры атмосферы на когерентность инфразвуковых сигналов на больших расстояниях от взрывов 119

Литература 123

Глава 4. Анизотропные флуктуации скорости ветра и температуры в устойчиво стратифицированной атмосфере **127**

4.1. Нелинейный механизм формирования анизотропных флуктуаций в устойчиво стратифицированной атмосфере 129

4.2. Лагранжевы смещения 130

4.3. Эйлеровы смещения 131

4.4. Мгновенные вертикальные профили тонкой структуры атмосферы 136

4.5. Механизм формирования анизотропных флуктуаций скорости ветра и температуры 139

4.6. Связь корреляционных функций эйлеровых и лагранжевых случайных смещений и скоростей среды 143

4.7. Спектры эйлеровых вертикальных смещений и горизонтальных скоростей 148

4.8. Пространственно-временные (четырехмерные) спектры вертикальных смещений и горизонтальных скоростей в области больших волновых чисел (q^2>>1) 158

4.9. Одномерные спектры вертикальных смещений и горизонтальных скоростей 159
4.10. Горизонтальные спектры в области больших волновых чисел 163
4.11. Сравнение теоретических и экспериментальных горизонтальных спектров 171
4.12. Частотные спектры вертикальных смещений и горизонтальных скоростей 173
Литература 184

Глава 5. Влияние атмосферных анизотропных неоднородностей на распространение и рассеяние инфразвуковых волн 190
5.1. Флуктуации времени пробега акустических волн, вызванные ВГВ 191
5.2. Дисперсия флуктуаций времени пробега звука вдоль луча 193
5.3. Флуктуации времени пробега сигнала в стратосферном волноводе 196
5.4. Структурная функция флуктуаций времени пробега $\delta\tau_x$ 197
5.5. Частотный спектр флуктуаций времени пробега 198
5.6. Измерение флуктуаций времени пробега акустических импульсов в устойчиво стратифицированном АПС 199
5.7. Флуктуации азимута распространения акустической волны, вызванные ВГВ 205
5.8. Моделирование методом ППУ распространения инфразвуковых волн в атмосфере с анизотропными флуктуациями 207
5.9. Уравнение Бюргерса для акустической волны, распространяющейся вдоль лучевой трубки 212
5.10. Оценки параметров N-волны в стратосфере и нижней термосфере 215
5.11. Коэффициент отражения слоя, заполненного слоистыми неоднородностями 217
5.12. Отраженное поле N-волны от слоя, заполненного слоистыми неоднородностями 219
5.13. Численное моделирование распространения инфразвуковых сигналов в атмосфере с флуктуациями, вызванными ВГВ 225
5.14. Частотный спектр отраженного сигнала 227
5.15. Сравнение с экспериментальными спектрами стратосферных приходов 229
Литература 230

Глава 6. Инфразвуковое зондирование тонкой слоистой структуры атмосферы 235
6.1. Акустическое зондирование средней атмосферы 235
6.2. Связь формы отраженного сигнала с вертикальным профилем флуктуаций эффективной скорости звука 236
6.3. Методика восстановления вертикальных профилей флуктуаций скорости ветра 240
6.4. Результаты реконструкции вертикальных флуктуаций скорости ветра в атмосфере 241
6.5. Вертикальные спектры восстановленных флуктуаций $\Delta C_{eff}(z)$ 253
Литература 255