

528.8
Б-435

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ

В.В. Белов, С.В. Афонин

**ОТ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ,
ТЕОРИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
К ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

50604

Томск
Издательство Института оптики атмосферы СО РАН
2005

УДК 553.361 + 551.501
ББК 22.343.73
Б435

Белов В.В., Афонин С.В. От физических основ, теории и моделирования к тематической обработке спутниковых изображений. Монография. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2005. – 266 с.

Монография посвящена вопросам теории формирования и переноса изображений в многокомпонентных рассеивающих и поглощающих средах (в земной атмосфере, в частности), построения эффективных систем мониторинга окружающей среды, основанных на тематической обработке многоканальных спутниковых изображений и их атмосферной коррекции.

Книга полезна для специалистов в области разработки методов и средств зондирования окружающей среды в оптическом диапазоне длин волн на основе обработки спутниковых изображений, а также для подготовки аспирантов, студентов, специализирующихся по этим и смежным направлениям фундаментальных и прикладных исследований.

Табл. 25. Ил. 97. Библиограф. 262 назв.

Рецензенты: д.ф.-м.н. проф. **В.П. Лукин**,
д.ф.-м.н. **В.А. Крутиков**,
д.ф.-м.н. проф. **Б.Д. Белан**

Утверждено к печати ученым советом Института оптики атмосферы СО РАН

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЧЕРЕЗ РАССЕИВАЮЩИЕ СРЕДЫ	5
Введение	5
1. Оптико-электронные системы формирования и обработки изображений.....	6
2. Оптические характеристики рассеивающих и поглощающих сред.....	8
2.1. Молекулярное поглощение.....	9
2.2. Молекулярное рассеяние.....	11
2.3. Рассеяние и поглощение в дисперсных средах.....	14
3. Основные понятия и соотношения теории линейных систем.....	19
Глава 1. Процесс формирования изображений. Стационарное уравнение переноса излучения	24
1.1. Двумерные оптические сигналы.....	25
1.2. Механизм формирования изображений в рассеивающих средах.....	28
1.2.1. Освещенность, помеха обратного рассеяния и световая дымка.....	28
1.2.2. Влияние среды на яркостную структуру объекта.....	29
1.2.3. Перенос оптического образа объекта через РП-среду.....	31
1.2.4. Особенность формирования изображений трехмерных объектов.....	33
1.3. Стационарное уравнение переноса излучения в РП-средах.....	36
Глава 2. Приближенные методы решения уравнения переноса излучения в теории видения	42
2.1. Теорема оптической взаимности.....	42
2.2. Передаточные свойства рассеивающих слоев.....	45
2.2.1. Однородный рассеивающий слой.....	46
2.2.2. Неоднородные рассеивающие слои.....	52
2.3. Двумерные передаточные свойства стратифицированных атмосферных аэрозольно-газовых каналов.....	54
2.3.1. Приближение однократного рассеяния.....	56
2.3.2. Приближенный учет многократного рассеяния.....	58

2.4. Каналы переноса изображений в турбулентной атмосфере. Совместный учет влияния дисперсной компоненты и флуктуаций показателя преломления.....	61
2.5. Наблюдение подводных объектов через атмосферу и взволнованную морскую поверхность	64
Глава 3. Статистическое моделирование в теории видения	65
3.1. Метод Монте-Карло. Основные уравнения, понятия, определения	65
3.1.1. Моделирование траекторий блуждания фотонов в рассеивающей и поглощающей средах	69
3.2. Алгоритмы моделирования двумерных системных характеристик РП-каналов методом Монте-Карло	72
3.2.1. Импульсные реакции $h_g(x, y)$ и $h_E(x, y)$	73
3.2.2. Оптические передаточные функции.....	75
3.3. Изопланарность в системах видения.....	76
3.3.1. Критерии оценки размеров зон изопланарности.....	77
3.3.2. Результаты численных экспериментов	78
3.4. Закономерности формирования импульсных реакций в каналах с многократным рассеянием	84
3.4.1. Импульсные реакции однородных локализованных слоев....	84
3.4.2. Моделирование условий видения через атмосферу.....	94
3.5. Экстремальное искажение качества изображения рассеивающей средой.....	115
3.5.1. Пространственная разрешающая способность в системах видения	117
3.5.2. Интерпретация t -эффекта в частотной области	130
3.5.3. «Эффект кальки» или «shower curtain effect».....	132
3.6. Строблируемые системы видения.....	134
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. МЕТОДЫ И ПРИМЕРЫ ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	143
Глава 4. Обнаружение лесных пожаров космическими средствами	143
4.1. Физические основы алгоритмов обнаружения лесных пожаров из космоса.....	145
4.2. Особенности обнаружения малоразмерных пожаров из космоса	147
4.3. Обзор методов решения задачи обнаружения очагов лесных пожаров из космоса.....	149
4.3.1. Двухшаговый алгоритм на основе потенциальных функций	151
4.3.2. Алгоритм составной модели пожара	152
4.3.3. Алгоритм феноменологической модели малоразмерных пожаров	154
Выводы	159
4.4. Информационно-методические основы блока атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений.....	160

4.4.1. Алгоритмы восстановления яркостных характеристик очага пожара.....	160
4.4.2. Характеристики подстилающей поверхности	162
4.4.3. Характеристики оптико-метеорологического состояния атмосферы.....	162
4.4.4. Восстановление характеристик атмосферного аэрозоля по спутниковым данным.....	170
4.4.5. Пример атмосферной коррекции спутниковых данных в задаче обнаружения малоразмерных высокотемпературных объектов из космоса	178
Глава 5. Восстановление изображений с использованием априорной информации	182
5.1. Оценка ФРТ по искаженным изображениям	184
5.1.1. Пространственное дифференцирование изображений	184
5.1.2. Решающее правило выделения экстремальных градиентов ...	186
5.1.3. Восстановление ФРТ градиентным методом	188
5.1.4. Модельный пример восстановления изображения	191
5.2. Восстановление космических снимков AVHRR на участках затенения полупрозрачной облачностью и фрагментами облаков ...	193
5.2.1. Метод преобразования гистограмм	193
5.2.2. Восстановление изображений на основе регрессионных уравнений	195
5.2.3. Примеры коррекции и восстановления спутниковых изображений	197
Глава 6. Опыт атмосферной коррекции спутниковых инфракрасных измерений. Учет молекулярного поглощения.....	199
6.1. Основные положения физической модели переноса теплового излучения через атмосферу.....	200
6.2. Селективное поглощение теплового излучения атмосферными газами	203
6.2.1. Основные положения модели селективного поглощения	203
6.2.2. Результаты численного моделирования искажающего влияния селективного поглощения	206
6.3. Континуальное поглощение теплового излучения.....	209
6.3.1. Основные положения модели континуального поглощения ..	209
6.3.2. Результаты численного моделирования искажающего влияния континуального поглощения	212
6.4. Влияние вариаций оптических и метеорологических параметров атмосферы на точность моделирования интенсивности восходящего ИК-излучения	215
6.4.1. Метеопараметры атмосферы	216
6.5. Коэффициенты молекулярного поглощения	225
6.5.1. Влияние ошибок в параметрах спектральных линий.....	225

6.5.2. Влияние ошибок в задании коэффициентов континуального поглощения	227
6.6. Натурные эксперименты по оценке точности численного моделирования интенсивности восходящего ИК-излучения	229
6.6.1. Результаты самолетных экспериментов	229
6.6.2. Результаты морских экспериментов	230
6.7. Подспутниковые эксперименты по контролю радиометрической точности теплового канала прибора МСУ-СК на ИСЗ «Ресурс-01»	233
6.7.1. Результаты морских экспериментов	233
6.7.2. Результаты самолетных экспериментов	237
Литература	242
Список основных использованных сокращений и обозначений	258

Научное издание

Белов Владимир Васильевич
Афонин Сергей Васильевич

**ОТ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ, ТЕОРИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
К ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Редактор — А.В. Лисевич
Технический редактор — Н.М. Шагина
Компьютерная верстка Т.В. Исаевой, О.А. Турчинович

Лицензия ИД № 03420 от 25.12.2000 г.
Сдано на верстку 20.01.2005 г. Подписано к печати 7.06.2005 г.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Гарнитура «Кудряшов».
Печ. л. 16,6. Усл. печ. л. 15,4. Уч.-изд. л. 16,5.
Тираж 400 экз. Заказ № 9.

Издательство Института оптики атмосферы СО РАН.
634055, г. Томск, пр. Академический, 1.
Тел.: (382-2) 492-431.

Тираж отпечатан в типографии Издательства Института оптики атмосферы СО РАН.