

Исследование Земли из космоса - XXI век

В.В. Вишнеvский

О П Т И К А

**дистанционного
зондирования
океана**

**Москва
2004**

ББК 72 + 74

В 55

УДК 001 + 62 + 37

574(285.2+504.054:54)

Вишневский В.В. Оптика дистанционного зондирования океана. М. Академия наук о
Земле. 2004. - 290 с.

ISBN 5-93411-035-7

В книге обобщены сведения по оптике атмосферы, гидросферы и литосферы, физической и технической оптике, оптическим и оптико-электронным приборам для осуществления анализа, синтеза и оптимизации дистанционных технологий и технических систем оптического зондирования океана и объектов прибрежной зоны.

В ней приведены теоретические основы и линейно-системные модели фотографической и оптико-электронной съемки и дистанционного лазерного зондирования океана. Показано практическое применение модельных систем для разработки оптико-электронных методов и приборов измерения различных характеристик океана. Даны схемы технических систем оптико-электронного зондирования и методы их энергетического расчета.

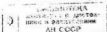
Книга рассчитана на инженерно-технических и научных работников, занимающихся созданием техники и технологий дистанционного зондирования, на аэрофотогеодезистов и геофизиков, специалистов по исследованию природных ресурсов и охране окружающей среды и на студентов соответствующих специальностей, хорошо знакомых с физикой, оптикой и электроникой и интересующихся современными методами исследования океана.

От редакции. Владимир Владимирович Вишневский известный российский учёный стоявший в 70-х годах XX века у истоков формирования и разрешения новой тогда научной проблемы по дистанционному исследованию океана. Выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана он начал свою научную деятельность в ОКБ им. С.А. Лавочкина, а продолжил в Государственном океанографическом институте и в Московском институте инженеров геодезии, аэрофото съемки и картографии. Им опубликовано множество научных работ по исследованию, моделированию и синтезу оптических дистанционных методов исследования Мирового океана с использованием средств аэрокосмической съемки и лазерной техники, а разработанные технические решения защищены рядом авторских свидетельств и патентов Российской Федерации. На сегодня практически нет ни одного научного направления в этой области, где он не был бы первооткрывателем и не создал научной базы для дальнейших изысканий.

Его капитальный труд объединяет на единой физической и технической основе два крупнейших научных направления в области дистанционного зондирования по пассивной и активной съемке океана. Поэтому данная монография может быть полезна действующим учёным для расширения и совершенствования исследований в этой области знаний.

От автора. Мне хочется посвятить эту монографию светлой памяти моего учителя, блестящему педагогу и оптику, профессору, зав. кафедрой прикладной оптики МИИГАиК Дмитрию Алексеевичу Романову, с которым я прошёл большую часть своего творческого пути. Я благодарен акад. В.В. Шулейкину (1976 г.), акад. Л.М. Бреховских (1976 г.), акад. К.Я. Кондратьеву (1991 г.), акад. М.Е. Виноградову (1991 г.) и Институту оптики атмосферы РАН (1990 г.) за оценку моих работ. Считаю своим долгом выразить искреннюю признательность д.т.н. В.К. Дебольскому, д.т.н. И.В. Скокову, д.т.н. А.С. Дубовику, д.ф.-м.н. Г.В. Матушевскому, д.ф.-м.н. В.М. Захарову, д.ф.-м.н. Г.Н. Глазову, д.ф.-м.н. М.Л. Белову, д.ф.-м.н. Д.В. Позднякову, д.ф.-м.н. В.В. Козодёрову, д.ф.-м.н. В.И. Шмальгаузену, д.ф.-м.н. С.А. Патину, д.ф.-м.н. Т.В. Кондратину, д.х.н. Н.Б. Зорову, д.б.н. В.И. Ведерникову, д.б.н. Б.В. Коновалову и др. за отзывы на мои работы и сделанные ими полезные замечания. Выражаю свою признательность и д.т.н. Г.А. Аванесову, д.т.н. Я.Л. Зиману, д.т.н. Г.Ф. Тулинову, д.ф.-м.н. В.С. Шамаеву, д.ф.-м.н. В.В. Фадееву, д.ф.-м.н. Ю.А. Гольдину, д.ф.-м.н. А.Ф. Бункину и акад. Ф.В. Бункину за научные материалы, предоставленные для монографии.

Я благодарен Государственному комитету по науке и технике, Министерству промышленности, науки и технологий и Министерству образования и науки Российской Федерации за многолетнюю поддержку моих проектов.



Книга-почтой.

Адрес: 105064, Москва, Горьковский пер., 4,
Академия наук о Земле.

Академия приглашает к сотрудничеству ученых, специалистов, финансистов, общественных и государственных деятелей.

СОДЕРЖАНИЕ.

Введение.....	6	ГЛАВА 6. ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКЕАНА.	90
ГЛАВА 1. ОТ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ ДО СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА.	7	§ 15. Первичные оптические характеристики и их физические модели.....	90
ГЛАВА 2. РЕСУРСЫ ОКЕАНА И ИХ СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.	14	§ 16. Вторичные оптические характеристики.....	93
§ 1. Ресурсы океана.....	14	ГЛАВА 7. ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ.	95
§ 2. Современные проблемы экологии гидросферы применительно к задачам дистанционного мониторинга природной среды.....	20	ГЛАВА 8. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАССИВНОЙ СЪЕМКИ ОКЕАНА (оптический диапазон).	98
§ 3. Природные воды как естественный индикатор состояния региональных экосистем литосферы.....	23	§ 17. Оптико-механические и оптико-электронные устройства пассивного зондирования и их приёмные оптические системы.....	98
§ 4. Системное исследование океана и оптимизация экологического экспресс - мониторинга объектов гидросферы.....	26	§ 18. Дифракционная и дифракционно-абберационная оптические передаточные функции приемного объектива системы дистанционного зондирования.....	104
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.	28	Частотно-контрастная характеристика объектива приемной оптической системы.....	107
§ 5. Визуальные и визуально - инструментальные наблюдения и измерения.....	28	§ 19. Яркость природных сред и объектов в поле приемной оптической системы при плоской модели Земли.	109
§ 6. Методы фотографической и пассивной оптико-электронной съемки.....	30	19.1. Видимый - ближний инфракрасный участок спектра излучений.....	109
Аэроъемка и гидрографическое дешифрирование.....	31	Яркость излучения атмосферы.....	109
Космические проекты, способы определения характеристик водных экосистем и способы атмосферной коррекции данных дистанционного зондирования.....	33	Яркость излучения океана.....	110
§ 7. Методы активной оптико-электронной съемки или методы лазерного зондирования.....	47	Коэффициент яркости поверхности океана.....	110
ГЛАВА 4. АТМОСФЕРА, ГИДРОСФЕРА И ЛИТОСФЕРА В ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯ ЯРКОСТИ ЗЕМЛИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ.	53	Коэффициент яркости толщ вод.....	111
§ 8. Теория переноса.....	56	Модифицированные физические модели показателя поглощения и обратного рассеяния природных вод.....	111
§ 9. Фотометрическая теория многократного рассеяния.....	57	Коэффициент яркости пленки ПАВ.....	118
§ 10. Волновая теория многократного рассеяния.....	59	Коэффициент яркости дна океана.....	118
ГЛАВА 5. ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ.	62	19.2. Инфракрасный участок спектра излучений - тепловое излучение.....	119
§ 11. Физические модели атмосферы и ее первичные оптические характеристики.....	62	Яркость излучения атмосферы.....	119
§ 12. Рефракция электромагнитных волн. Модели вертикального профиля показателя преломления в атмосфере.....	67	Яркость излучения океана.....	119
§ 13. Влияние турбулентности на распространение электромагнитных волн. Модели вертикального профиля структурной функции показателя преломления в атмосфере.....	72	§ 20. Уравнения аэрокосмической съемки для энергетических расчётов и решения обратных задач дистанционного зондирования.....	120
§ 14. Вклад газовых молекул и аэрозолей в ослабление электромагнитных волн. Модели вертикального профиля градиента оптической толщи молекулярной и аэрозольной систем атмосферы.....	77	§ 21. Влияние ветрового волнения при аэрокосмической съемке.....	120
Структурные и оптические характеристики атмосферного аэрозоля.....	77	21.1. Видимый - ближний инфракрасный участок спектра излучений.....	121
Оптическая модель молекулярной системы атмосферы.....	79	Приборы, методика и результаты исследований яркости ветровых волн.....	125
Оптические модели аэрозольных систем атмосферы.....	80	21.2. Инфракрасный участок спектра излучений - тепловое излучение.....	128
Оптические модели рассеивающей атмосферы.....	89	Приборы, методика и результаты исследований радиационной температуры ветровых волн штормового бассейна.....	129
		§ 22. Фильтрация поля яркости природных объектов в атмосфере и океане в модели плоской Земли.....	132
		Яркость рассеянного в атмосфере излучения океана.....	132
		Оптическая передаточная функция атмосферы.....	134
		Яркость рассеянного в воде излучения дна океана при наличии поверхностных ветровых волн.....	134
		Оптическая передаточная функция океана при наличии поверхностных ветровых волн.....	136
		§ 23. Уравнения аэрокосмической съемки с учётом ОПФ атмосферы и океана для атмосферной и гидро-сферной коррекции и решения обратных задач дистанционного зондирования.....	137

§ 24. Фильтрация поля яркости природных сред и объектов в атмосфере произвольной стратификации при сферической и асферической моделях Земли.....	138
Влияние фотограмметрической рефракции на оптическую передаточную функцию атмосферы.....	138
Влияние турбулентности атмосферы на её оптическую передаточную функцию.....	139
Влияние молекулярного и аэрозольного рассеяния в атмосфере произвольной стратификации на изображение океана при аэрокосмической съёмке.....	141
Функция рассеяния точки элемента природного объекта в атмосфере произвольной стратификации.....	141
Молекулярная система атмосферы.....	143
Аэрозольная система атмосферы.....	145
Формулы преобразования функции рассеяния точки для линейных и угловых координат природных объектов и формулы преобразования полей яркости природных объектов в атмосфере произвольной стратификации.....	147
Яркость излучения неоднородной атмосферы произвольной стратификации в сферической модели Земли.....	148
Яркость излучения океана в сферической модели Земли с учётом фотолуминесценции и комбинационного рассеяния природных вод.....	150
Коэффициент яркости границы раздела океан-атмосфера.....	150
Коэффициент яркости природных вод без учёта индуцированного излучения.....	151
Коэффициент яркости природных вод с учётом индуцированного излучения.....	151
§ 25. Уравнения аэрокосмической съёмки в сферической модели Земли с учётом основных оптико-физических процессов атмосферы и океана.....	153
Пример практического применения уравнений АКС для описания преобразований в оптико-электронном спектрометре дистанционного зондирования.....	154
§ 26. Структура фотометрических полей некоторых акваторий Мирового океана.....	156
ГЛАВА 9. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКТИВНОЙ СЪЁМКИ ОКЕАНА (лазерное зондирование).....	161
§ 27. Оптико-электронные устройства активного зондирования и их передающие оптические системы.....	162
§ 28. Преобразование лазерного излучения передающей оптической системой.....	170
§ 29. Яркость природных сред и объектов в поле приёмной оптической системы при искусственном облучении.....	173
Характеристики обратного излучения природных вод при упругом рассеянии зондирующего излучения.....	173
Закономерности распространения индуцированного излучения в воде.....	174
Приборы, методика и результаты натурных исследований распространения индуцированного излучения в воде.....	175
Характеристики обратного излучения природных вод при фотолуминесценции и комбинационном рассеянии зондирующего лазерного излучения.....	177
§ 30. Одномерные уравнения неконтактного лазерного зондирования для энергетических расчётов и решения обратных задач дистанционного зондирования.....	177
Приборы, методика и результаты дистанционных измерений характеристик индуцированного излучения природных вод при неконтактном лазерном зондировании (натурные и лабораторные исследования).....	180
§ 31. Влияние нелинейных явлений при неконтактном зондировании с использованием мощных лазеров.....	184
Ослабление коллимированного лазерного излучения в воде.....	184
Ослабление расходящегося лазерного излучения в воде.....	184
Характеристики распространения излучения комбинационного рассеяния и фотолуминесценции в воде.....	185
Яркость излучения природных вод в поле приёмной оптической системы и одномерные уравнения неконтактного лазерного зондирования с учётом нелинейных явлений.....	188
§ 32. Влияние ветрового волнения при неконтактном лазерном зондировании природных вод.....	189
§ 33. Уравнения активной аэрокосмической съёмки для моделирования трёхмерного зондирования и решения обратных задач дистанционного зондирования.....	191
Пример практического применения уравнений активной аэрокосмической съёмки для описания преобразований световых полей при лазерном зондировании.....	193
§ 34. Структура поля индуцированного излучения при неконтактном лазерном зондировании на некоторых акваториях Мирового океана.....	194
ГЛАВА 10. ЛИНЕЙНО-СИСТЕМНЫЕ МОДЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	195
§ 35. Теория линейного элемента и его характеристики.....	196
§ 36. Принципы моделирования и исследования операций дистанционного зондирования на основе линейных систем и входящих в них линейных элементов.....	197
§ 37. Конструкция модели пассивного зондирования океана.....	198
Линейно-системные характеристики элементов модели.....	199
§ 38. Конструкция модели пассивного зондирования континентального шельфа.....	200
Линейно-системные характеристики элементов модели.....	201
§ 39. Конструкция модели активного зондирования океана.....	202
Линейно-системные характеристики элементов модели.....	202
Выходные функции линейной системы.....	203
§ 40. Конструкция модели активного зондирования дна океана.....	205
Линейно-системные характеристики элементов модели.....	205
Выходные функции линейной системы.....	206
ГЛАВА 11. СИНТЕЗ ОПТИЧЕСКИХ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ, ТОЛЩИ ВОД И ДНА ОКЕАНА.....	207
§ 41. Основы модельного синтеза методов измерения.....	208
§ 42. Алгоритмические системы неконтактного измерения характеристик океана.....	208

§ 43. Модели, методы и алгоритмы определения характеристик природных объектов с помощью пассивного зондирования.....	208
43.1. Измерение геометрических характеристик.....	209
Методы определения характеристик волн на поверхности океана.....	209
Методы определения характеристик дна океана.....	214
43.2. Методы определения температуры поверхности океана.....	216
Одноволновый метод определения ТПО.....	219
Двухпараметрические методы определения ТПО.....	220
43.3. Методы определения гидрохимических, гидробиологических и гидрооптических характеристик.....	223
Инфракрасный метод определения гидрохимических характеристик поверхности океанских вод.....	223
Методы определения гидрохимических, гидробиологических и гидрооптических характеристик водных масс океана с использованием спектральной съемки в видимом диапазоне.....	225
Алгоритмы определения концентрации хлорофилла в океанских водах.....	228
Способы и алгоритмы атмосферной коррекции данных дистанционного зондирования для определения характеристик водных масс океана.....	230
Однопараметрический способ атмосферной коррекции данных дистанционного зондирования для определения характеристик водных масс океана.....	230
Методические ошибки однопараметрического способа атмосферной коррекции.....	232
Двухпараметрический способ атмосферной коррекции.....	233
Методические ошибки двухпараметрического способа атмосферной коррекции.....	236
Сравнение основных ошибок измерений при однопараметрическом и двухпараметрическом способах атмосферной коррекции.....	238
43.4. Адаптивные технологии пассивного зондирования.....	238
Оптимизация параметров и алгоритмов дистанционного зондирования как основа технологий аэрокосмической съемки нового поколения.....	240
Выбор спектральной зоны дистанционного зондирования дна океана.....	240
Выбор спектральных зон дистанционного определения гидрооптических и гидробиологических характеристик океана.....	241
Выбор спектральных зон дистанционного определения гидрохимических характеристик океана.....	241
Выбор спектральных зон для осуществления атмосферной коррекции при аэрокосмической съемке.....	242
Основные задачи аэрокосмической съемки с адаптивными свойствами.....	244
Технологические операции аэрокосмической съемки океана и береговой зоны и функции отдельных подсистем адаптивной ОЭС для их осуществления.....	245
Структурная схема адаптивной оптико - электронной системы аэрокосмической съемки океана и береговой зоны.....	247
Основы создания банка эталонных данных о параметрах атмосферы над океаном.....	248
§ 44. Модели, методы и алгоритмы определения характеристик природных объектов с помощью лазерного зондирования.....	249
44.1. Измерение геометрических характеристик.....	249
Метод определения статистических характеристик ветровых волн при круговом сканировании.....	249
Метод определения статистических характеристик ветровых волн при радиально-круговом сканировании.....	250
Методы определения статистических характеристик ветровых волн без сканирования.....	252
Методы определения рельефа поверхности и дна океана с импульсной модуляцией лазерного зондирующего излучения.....	256
Методы определения рельефа поверхности и дна океана с аналоговой модуляцией лазерного зондирующего излучения.....	257
44.2. Методы определения гидрооптических характеристик.....	264
Методы определения оптических характеристик природных вод с аналоговой амплитудной модуляцией зондирующего излучения.....	264
Методы определения оптических характеристик природных вод с импульсной модуляцией лазерного зондирующего излучения.....	265
44.3. Методы определения гидрохимических и гидробиологических характеристик.....	268
Инфракрасные методы определения гидрохимических характеристик поверхности океанских вод.....	268
Методы определения гидрохимических и гидробиологических характеристик с помощью активной спектроскопии.....	269
44.4. Комплексные измерения.....	276
Литература.....	278

499. Коновалов Б.В. Некоторые особенности спектрального поглощения извести морской воды. - Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. - Новосибирск: Наука, 1979, с. 58-64.
500. Вишняевский В.В. Способ дистанционного определения геофизических и геометрических характеристик океаносферы и устройство для его осуществления. Патент №2045747 RU, MKU G 01 C 13/00, 11/00, pp. 12.
501. Бадаев В.В., Малкевич М.С., Пизик Б., Циннерманн Г. Определение оптических параметров земной поверхности, океана и атмосферы со спутников «Интеркосмос - 20 и 21» - Исслед. Земли из космоса, 1985, № 5, с. 18-29.
502. Физические аспекты дистанционного зондирования системы «океан-атмосфера». Под ред. М.С. Малкевича. М.: Наука, 1981, с. 216.
503. Якушенок Ю.Г., Лукацкий В.Н., Колосов М.П. Методы борьбы с помехами в оптико-электронных приборах. М. Радио и связь, 1981, - 180 с.
504. Афонин Е.И., Корчагина С.Ф. Оптическая классификация цвета океанских вод на основе статистического анализа спектров яркости восходящего излучения. - Деп. в ВИНТИ, 1986, №570-В 86 Деп., 36 с.
505. Gordon H.R. et al. Ocean color measurements. Advances in geophysics. 1985, v.27, p.297-333.
506. Bartolucci L.A., Robinson B.F., Silva L.F. Field Measurements of the Spectral Response of Natural Waters. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1977, vol. XLIII, no.5, p. 595-598.
507. Паршиков С.В., Ли М.Е. Дистанционное зондирование пространственных неоднородностей спектральной яркости морской поверхности. - Деп. в ВИНТИ, 1986, №6915 - В 86 Деп., 86 с.
508. Патент 3144562 (США) НКИ 250-235.
509. Аванесов Г.А., Галеев А.А., Жуков Б.С., Зинан Я.Л., Митрофанов И.Г. Проект «Экос-А». М.: «Исследования Земли из космоса», N 2, 1982, сс. 3-13.
510. Многозональный сканер с конической разверткой для исследования природных ресурсов. / Селиванов А.С., Караева М.К., Носов Б.И. и др. Исслед. Земли из космоса, 1985, №1, с.66-72.
511. Авдошкин М.И., Артемкин Е.Е., Емельянов В.Н., Миниров А.Е. Оптические свойства атмосферы над водной подстилающей поверхностью. Вопросы оптики атмосферы. М., Гидрометеоиздат, 1980, с. 65-73.
512. Шифрин К.С., Виллевалде Ю.В., Волгин В.М., Волков В.Н., Смирнов А. В. Оптические характеристики атмосферы над морем. - В кн. Оптика моря и атмосферы. Изд. ГОИ, Ленинград 1984, с. 312-314.
513. Левин И.Н., Радомысльская Т.М., Шифрин К.С. К расчету яркости системы океан-атмосфера при дистанционном зондировании. Иссл.Земли из космоса, 1987, №5, с.25-29.
514. Пелевин В. Н., Бурцев Ю. Г. Измерение наклонов элементарных площадок поверхности волнующегося моря. - В кн.: Оптические исследования в океане и в атмосфере над океаном. М., изд. ИО АН СССР, 1975, с. 202-218.
515. Оптика океана. Т. 2 - Прикладная оптика океана. М.: «Наука», 1983, 236 с.
516. Лонге-Хитгинс М.С. Статистический анализ случайной движущейся поверхности. Сборник «Ветровые волны»/Пер. с англ./Под. ред. Ю.М. Крылова/ М. Иностр. лит-ра, 1962, с. 125-317.
517. Лонге-Хитгинс М.С. Статистическая геометрия случайных поверхностей. Гидродинамическая неустойчивость. Пер. с англ./Под. ред. А.С. Монина. М. Мир. 1964, с.124-167.
518. Якушенок Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения. М., Советское радио, 1977, с. 217.
519. Лазерный прибор с амплитудной аналоговой модуляцией излучения для измерения рельефа границы раздела двух сред. Известия вузов. Геодезия и аэрофотогиземка, 1982, №2, с.74-76.
520. Белов М.Л., Горюничев В.А., Козинцев В.И., Стрелков Б.В. Обнаружение нефтяных загрязнений на квантованной морской поверхности с помощью трёхлучевого лазерного метода. Оптика атмосферы и океана, т.15, №10, 2002, с.900-901.
521. Белов М.Л., Березин С.В., Горюничев В.А., Козинцев В.И. Метод контроля толщины тонких плёнок нефтепродуктов на водной поверхности, основанный на использовании лазера с перестраиваемой длиной волны излучения. Оптика атмосферы и океана, т.15, №2, 2002, с.203-205.

B55 Вишняевский В.В. Оптика дистанционного зондирования океана. М. Академия наук о Земле. 2004. - 290 с.

Министерство РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых телекоммуникаций
ЛР № 030381
Академия наук о Земле
105064, Москва, Горьковский пер.,4

Подписано в печать 05.03.2004. Формат 60 x 90^{1/8}. Объем 36,3 п.л. Отпечатано ООО «Микропринт». Тираж 1200. Все права защищены. Никакая часть данного издания не может быть воспроизведена в какой-либо форме без письменного разрешения Академии наук о Земле. Издатели не несут ответственности за ошибки, допущенные авторами в работе.