

Г.А. Калошин, С.А. Шишкин, С.А. Серов

Развитие программно-технологического пакета для расчета аэрозольного ослабления оптического излучения в приземном слое морской и прибрежной атмосферы

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 24.08.2006 г.

Представлено описание программного пакета MaexPro для оценки энергетика сигнала в приземном слое морской и прибрежной атмосферы. Ключевым входным параметром в пакет является параметр fetch. Программа позволяет давать оценку аэрозольного ослабления как функции стандартных легко измеряемых метеорологических параметров, микрофизического состава аэрозоля, спектрального диапазона приемника и геометрии трассы наблюдения.

Введение

Известно, что ослабление оптического излучения видимого и ближнего ИК-диапазона в морском приземном слое обусловлено, главным образом, рассеянием и поглощением атмосферным аэрозолем. Это ослабление влияет на зависимость спектрального пропускания как естественного, так и искусственного света, что представляет интерес для широкого круга задач, в частности для радиационных задач, при изучении закономерностей формирования климата, и для ряда приложений, связанных с прогнозом энергетика сигнала в прибрежных условиях при оценке характеристик оптико-электронных приборов и систем.

Согласно существующим в настоящее время представлениям об аэрозоле приземного слоя морской и прибрежной атмосферы, его микрофизические и оптические характеристики, определяющие величину коэффициента аэрозольного ослабления $\alpha(\lambda)$, существенным образом зависят от типа воздушной массы, ветрового режима: скорости и направления ветра, связанной с этим величины области разгона волн, влажности, и имеют выраженный высотный профиль, особенно в области высот 0–30 м [1–6].

Исследованием аэрозоля и его воздействия на различные процессы в пограничном слое морской и прибрежной атмосферы в последние 10–15 лет занимаются многочисленные исследовательские группы, объединенные рядом долгосрочных международных программ. Наиболее известные среди них — RED (Rough Evaporation Duct) [7], EOPACE (Electro Optical Propagation Assessment in Coastal Environment) [8–10], ASE-1, -2 (Aerosol Characterization Experiment) [11], MARTIP Experiment (Marine Aerosol Properties and Thermal Imager Performance) [12], PARFORCE (New Particle Formation and Fate in the Coastal Environment) [13].

Одной из целей программ является разработка эффективных прибрежных аэрозольных моделей,

в которых в качестве входных данных используются легко измеряемые метеопараметры. Одновременно с этим разрабатываются электронные версии моделей, пакеты программ или коды, где главными расчетными характеристиками являются спектры аэрозольного ослабления.

В статье приводится описание последней версии программного пакета MaexPro (Marine aerosol extinction Profile) для расчета: спектральных и вертикальных профилей коэффициентов аэрозольного ослабления $\alpha(\lambda)$, функции распределения частиц по размерам, счетной концентрации, сечения рассеяния, распределения объемов, спектральных профилей отдельных мод.

1. Содержание программного пакета MaexPro

Если распределение по размерам и показатель преломления частиц аэрозоля известны и имеют форму сфер, то, используя положения теории Ми, можно рассчитать коэффициенты аэрозольного рассеяния и ослабления по следующим формулам [14–18]:

$$\alpha(\lambda) = \int_0^{\infty} K_p(\rho, m) \frac{dN}{dr} \pi r^2 dr, \quad (1)$$

коэффициент ослабления

$$\varepsilon(\lambda) = \int_0^{\infty} K(\rho, m) \frac{dN}{dr} \pi r^2 dr, \quad (2)$$

где dN/dr — функция распределения аэрозольных частиц по размерам, $\text{см}^{-3} \cdot \text{мкм}^{-1}$; $K_p(\rho, m)$, $K(\rho, m)$ — коэффициенты Ми (факторы эффективности рассеяния и ослабления соответственно); $\rho = 2\pi r/\lambda$ — относительный размер частицы; m — комплексный показатель преломления; r — радиус аэрозольных частиц, мкм.

1.1. Микрофизическая модель MaexPro

Расчет dN/dr осуществлялся по последней версии одноименной микрофизической модели MaexPro [19–25]. Модель характеризуется 4-модальной функцией распределения частиц по размерам и записывается в виде суммы четырех логнормальных функций:

$$\frac{dN}{dr} = \sum_{i=1}^4 \frac{A_i}{f} \exp\left\{-C_i [\ln(r/fr_{0i})]^2\right\}, \quad (3)$$

где A_i , C_i – амплитуда и ширина i -й моды соответственно; r_{0i} – модальный радиус i -й моды, мкм ($r_{01} = 0,03$; $r_{02} = 0,24$; $r_{03} = 2$; $r_{04} = 10$ мкм); $f = [(2 - S)/6(1 - S)]^{1/3}$ – функция (фактор) роста, зависящая от влажности; $S \equiv f/100$ – индекс насыщения; f – относительная влажность воздуха, %. При $f = 80\%$ значение функции роста $f = 1$.

Принципиальным отличием модели является то, что амплитуда и ширина различных мод параметризованы как функции величины fetch (расстояние по открытой воде с наветренной стороны) X и скорости ветра U [26].

Область применимости модели:

- модель MaexPro выполнена для спектра размеров частиц от 0,001 до 100 мкм по радиусу r и развита к настоящему времени для диапазона высот H от 0 до 25 м, где происходят наиболее существенные изменения микрофизического состава;
- диапазон изменения скорости ветра U – от 3 до 18 м/с;
- величина области разгона волн X – от 3 до 120 км;
- относительная влажность f – в диапазоне от 40 до 98%.

1.2. Оптическая модель MaexPro

В модели MaexPro действительные и мнимые части комплексного показателя преломления для компонентов вещества аэрозоля были взяты из графических данных экспериментальных работ [27–30] и методом экстраполяции этих данных рассчитаны для диапазона длин волн λ от 0,2 до 40 мкм с шагом $\Delta\lambda = 0,0001$ мкм. Вещество аэрозоля представлено в виде 4 комбинаций сухого вещества, морской соли и воды.

Таблица 1

Компоненты вещества аэрозоля

Мода	Вещество	Размер моды, мкм	Ссылка
1	нерастворимое	0,03	[27]
2	растворимое	0,24	[28, 29]
3	соль + вода	2	[27]
4	соль + вода	10	[30]

Кроме того, при расчете коэффициента аэрозольного ослабления $\alpha(\lambda)$ использовалась следующая экстраполяция, связанная с высотным профилем функции роста f [31–34]:

$$\left(\frac{\alpha_H}{\alpha_{0M}}\right) = \left(\frac{0,037}{1,017 - f_H/100}\right)^{0,84}, \quad (4)$$

где α_{0M} – коэффициент аэрозольного ослабления на высоте $H_0 = 0$, км⁻¹; f_H – функция роста на высоте H .

Расчет высотных профилей функции f осуществлялся при следующих условиях:

- если $20 \text{ м} \leq H \leq 25 \text{ м}$, то $f = f_{25M}$;
- если $H \leq 20 \text{ м}$ и $f \leq f_{25M}$, то $f = f_{25M}$;
- иначе: если $H \leq 20 \text{ м}$, то $f = (f_{25M} + 7)H^{-0,03}$.

Здесь f_{25M} – функция роста на высоте $H = 25$ м. Экстраполяция годится для диапазона значений f от 40 до 98%.

2. Основные этапы работы программного пакета MaexPro

Для реализации программного пакета MaexPro 5.0 была выбрана среда программирования Borland Delphi 2005. Выбор данной среды обусловлен наличием высокопроизводительных приложений, позволяющих спроектировать максимально удобный и функциональный интерфейс пользователя.

Структурная схема пакета представлена на рис. 1.

Пакет MaexPro позволяет рассчитывать:

- спектральные и вертикальные профили $\alpha(\lambda)$ в соответствии с выражениями (1)–(4);
- функцию распределения частиц по размерам, сечение рассеяния, распределение объемов;
- спектральные профили отдельных мод;
- экстраполяцию комплексных показателей преломления компонентов вещества аэрозоля.

Входными данными в подпрограмму MaexPro являются следующие величины:

- $X(70)$ – fetch, км;
- $f(80)$ – относительная влажность, %;
- $U(3,5)$ – скорость ветра на высоте 10 м, м/с;
- $H(10)$ – высота над морской поверхностью, м;
- $\Delta H(1)$ – шаг по высоте, м;
- $r_{\min}(0,001)$, $r_{\max}(100)$, $\Delta r(0,001)$ – минимальный и максимальный радиусы и шаг по радиусу, мкм;
- $\lambda_{\min}(0,2)$, $\lambda_{\max}(40)$, $\Delta\lambda(0,0001)$ – минимальная и максимальная длина волны излучения и шаг по длине волны соответственно, мкм.

В скобках указаны наиболее характерные значения входных параметров, которые задаются по умолчанию и могут быть изменены по желанию пользователя в рамках применимости модели.

Расчет спектров аэрозольного ослабления проводится в определенной последовательности. Сначала вводятся входные параметры в области применимости модели, т.е. данные по микрофизическому составу аэрозоля, спектральному диапазону и необходимым метеорологическим условиям. Затем выбираются вид и модель расчета. Выбор варианта расчета осуществляется из следующих опций. Вид расчета: расчет спектрального ослабления (полный либо пакетный вариант), расчет спектрального ослабления, расчет спектрального ослабления из измеренного распределения (в зависимости

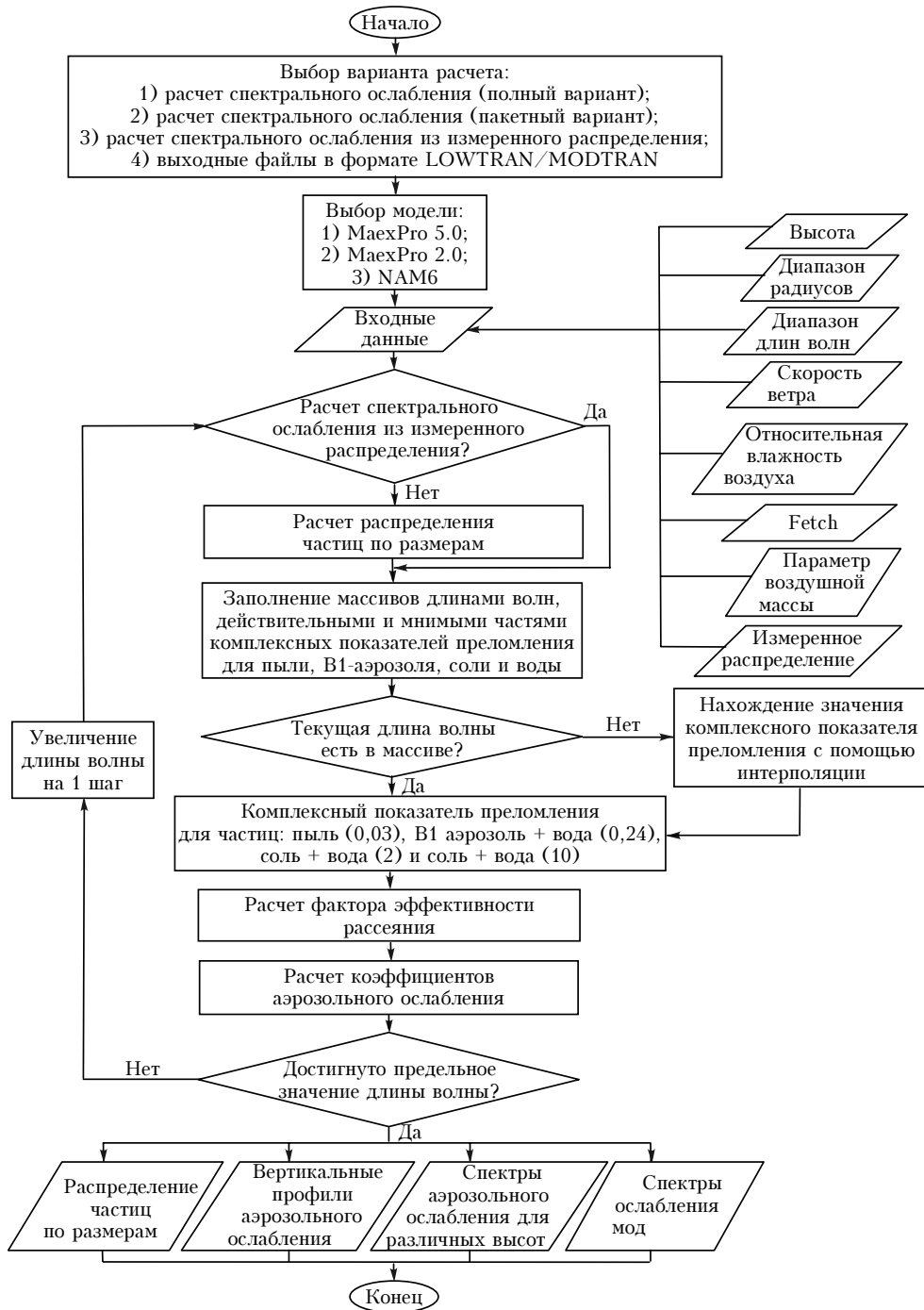


Рис. 1. Структурная схема пакета MaexPro

от этого расчет dN/dr проводится либо по выражениям (3), либо с использованием данных из измеренного распределения), представление выходных файлов в формате, удобном для входа в MODTRAN/LOWTRAN, расчет спектрального ослабления (программный вариант). По умолчанию устанавливается полный режим расчета, так как он является основным. Модель выбирается из следующих опций: MaexPro 5.0, MaexPro 2.0 и NAM6.

Далее идет основной цикл программы, где текущим параметром является длина волны. Расчет

dN/dr осуществляется в зависимости от выбранной модели для каждой моды, затем суммируется и строится общее распределение. Далее заполняются динамические массивы значениями длин волн и соответствующими им действительными и мнимыми частями комплексного показателя преломления и рассчитывается значение комплексного показателя преломления для текущей длины волны. Для этого проводится поиск соответствующей длины волны в массиве, и если текущей длины волны нет в массиве, то рассчитываются действительная и мнимая части

комплексного показателя преломления с помощью интерполяции. Далее происходит расчет факторов эффективности ослабления и рассеяния в соответствии с выражениями теории Ми с помощью подпрограммы MieCalc [35]. Ряды вычисляются методом обратной рекурсии.

Коэффициент аэрозольного ослабления и рассеяния вычисляется интегрированием по методу трапеций. Интегрирование ведется по заданному радиусу частиц. В качестве шага интегрирования берется входной параметр величины шага по диапазону радиусов. Если достигнуто предельное значение длины волны, то происходят завершение основного цикла программы и отображение выходных данных: распределение частиц по размерам, вертикальные профили аэрозольного ослабления, спектры аэрозольного ослабления для различных высот и спектры ослабления мод. Эти данные используются для дальнейшей графической визуализации в виде таблиц и графиков. Если же предельное значение длины волны не достигнуто, то продолжается выполнение основного цикла программы.

3. Управление пакетом MaexPro

Главное меню пакета MaexPro 5.0 представлено на рис. 2 и состоит из трех разделов: вид раздела (вид расчета, правка, модель, история последних расчетов, справка), область ввода входных параметров и составные окна.

Для структурирования результатов расчета полученные данные делятся на 4 группы и отображаются в соответствующих составных окнах: базис, вертикальные профили, спектры аэрозольного ослабления, спектры ослабления мод. В составных окнах осуществляется отображение полученных результатов в виде графиков, числовых значений и таблицы. При переключении между составными окнами область ввода параметров остается неизменной.

На рис. 2 активно одно из составных окон – «Базис». Здесь показана функция dN/dr , которая при двойном «клике» меняется на функции сечения рассеяния и распределение объемов. В нижней информационной области приведены их значения в цифровом виде.

В составном окне «Базис» изменять спектр размеров частиц аэрозоля можно, передвигая соответствующие вертикальные линии. Дополнительное окно справа позволяет задавать метеопараметры графически путем перемещения кружков. Кроме того, предусмотрен ряд сервисных команд: переключатель OverPlot для наложения или изменения графиков, интерполяция профилей $\alpha(\lambda)$ по высоте, масштабирование и трассировка, всевозможные копирования, представление данных в виде таблиц; представление данных, удобных для входа в код MODTRAN, и т.п.

На рис. 3 показано составное окно «спектры аэрозольного ослабления», на котором в качестве примера приведены спектры аэрозольного ослабления,

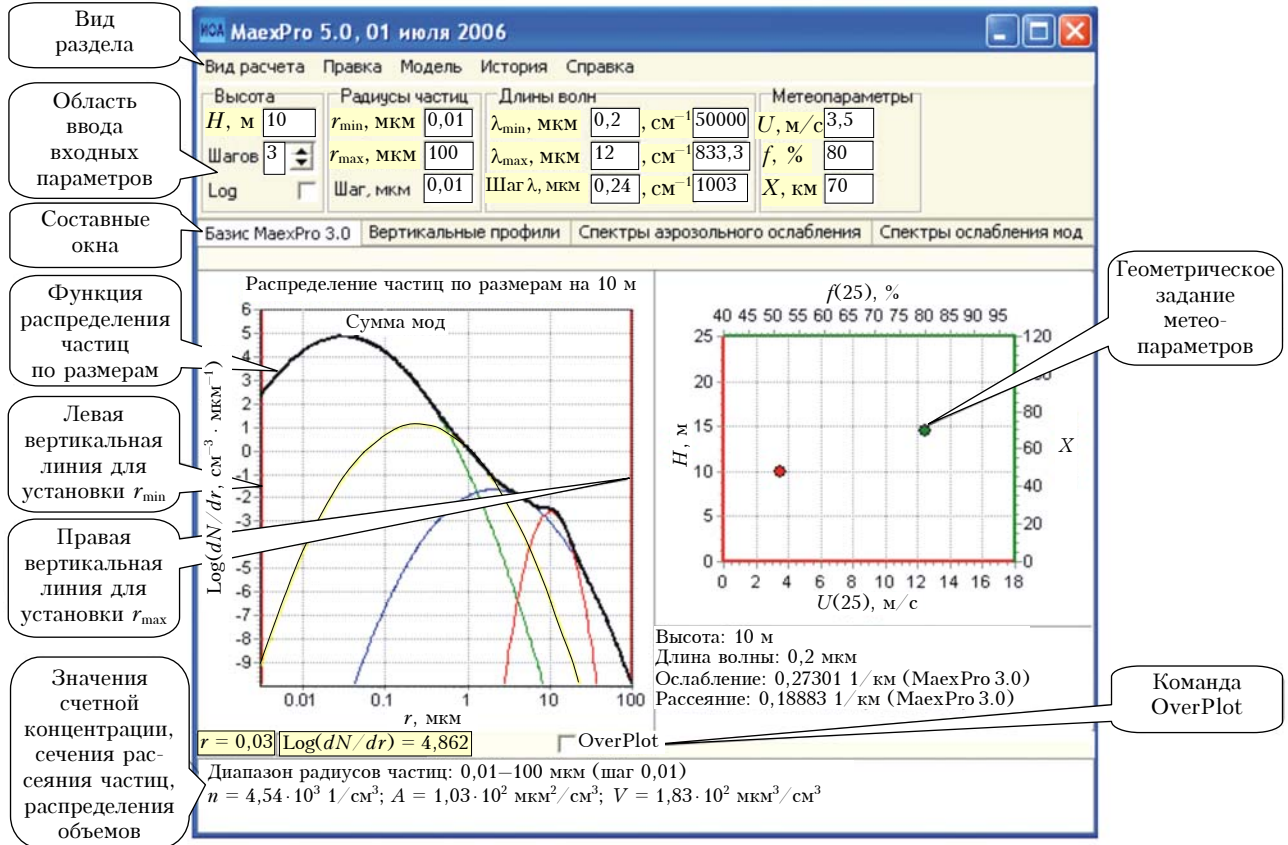


Рис. 2. Интерфейс пакета MaexPro

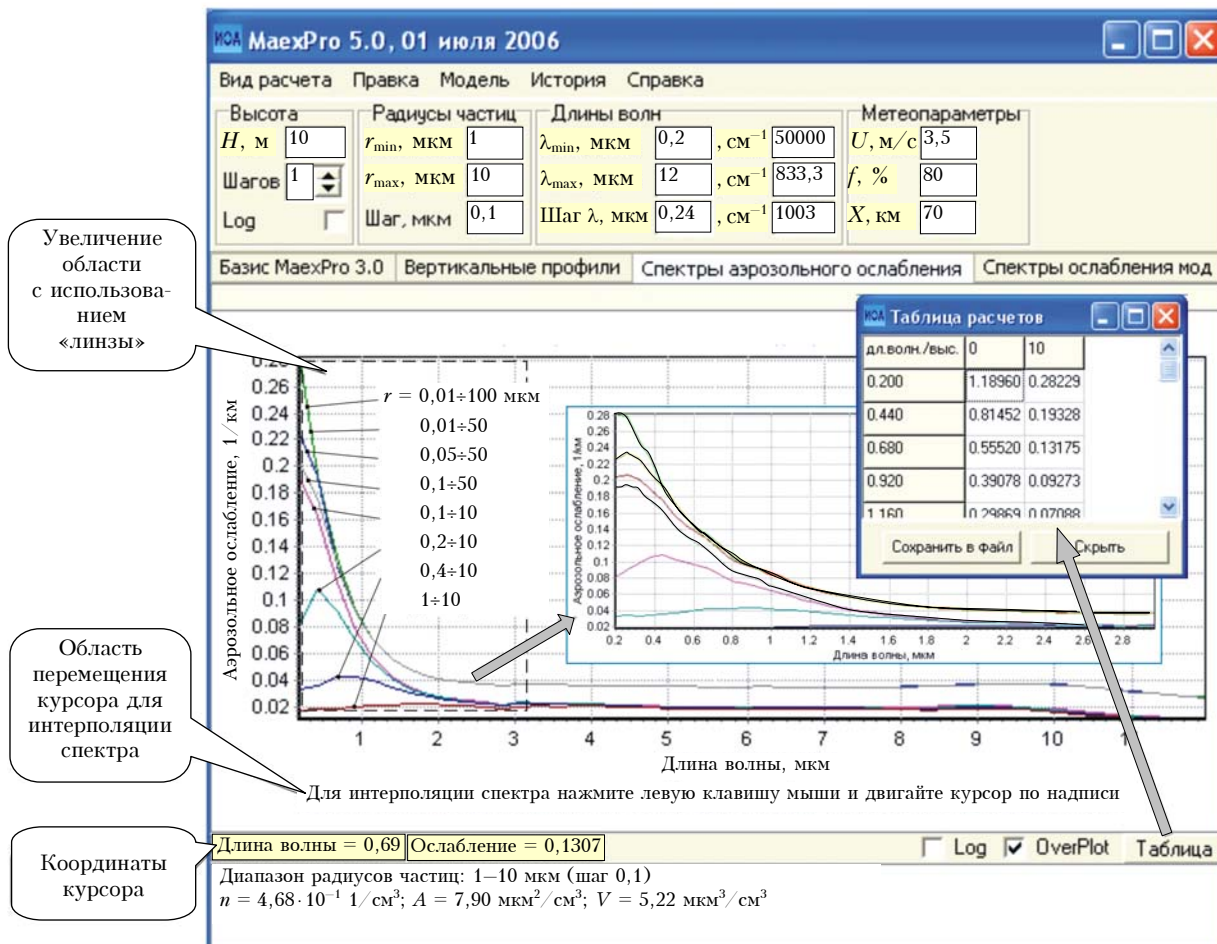


Рис. 3. Составное окно «спектры аэрозольного ослабления» пакета MaexPro

характеризующие оптическую активность аэрозоля приземного слоя морской и прибрежной атмосферы, для наиболее характерных значений входных метеопараметров и геометрии измерений. Спектры $\alpha(\lambda)$ получены с использованием сервисной команды «переключатель OverPlot» и рассчитаны на основе dN/dr для 8 спектров размеров частиц, в том числе и для dN/dr , которые могут быть получены с помощью аэрозольного счетчика АЗ-5 с диапазоном измерения частиц аэрозоля по радиусу $\Delta r = 0,4\div 10$ мкм и пылемера ОМПН-10,0 (ОПТЭК Спб.), осуществляющего контроль фракций в стандарте РМ-10,0; РМ-2,5 и РМ-1.

В табл. 2 приведены значения счетной концентрации N , сечения рассеяния A и распределение объемов V при изменении спектра размеров частиц по Δr от $0,01\div 100$ до $1\div 10$ мкм при $H = 10$ м, $U = 3,5$ м/с, $f = 80\%$, $X = 70$ км.

Анализ результатов расчета (см. рис. 3 и табл. 2) показывает, что при проведении расчетов, связанных с оценками энергетика оптического сигнала в диапазоне спектра $\Delta\lambda = 0,2\div 12$ мкм, целесообразно пользоваться данными $\alpha(\lambda)$, рассчитанными на основе dN/dr для полного спектра размеров частиц аэрозоля $\Delta r = 0,01\div 100$ мкм. Отметим, что для выбранных значений входных метеопараметров и геометрии

Таблица 2

Значения счетной концентрации, сечения рассеяния и распределения объемов при изменении спектра размеров частиц

Δr , мкм	N , 1/см ³	A , мкм ² /см ³	V , мкм ³ /см ³
0,01–100	4540	103	183
0,01–50	4540	103	183
0,05–50	2210	94,5	182
0,1–50	663	69,9	180
0,1–10	663	63,8	69,8
0,2–10	90,4	31,4	63,5
0,4–10	7,26	14,2	57,2
1–10	0,468	7,90	52,2

измерений $\alpha(\lambda)$, рассчитанные на основе dN/dr для полного спектра размеров частиц аэрозоля $\Delta r = 0,01\div 100$ мкм и для частичного $\Delta r = 0,01\div 50$ мкм, совпадают. Для неполных спектров, которые могут быть получены счетчиками АЗ-5 и ОМПН-10,0, расчетные значения $\alpha(\lambda)$ в диапазоне $\Delta\lambda = 2\div 12$ мкм отличаются приблизительно в два раза, а в диапазоне $\Delta\lambda = 0,2\div 2$ мкм различия в значениях $\alpha(\lambda)$ достигают 50 [36]. Такие же существенные различия (см. табл. 2) наблюдаются в численных значениях счетной концентрации, сечения рассеяния и распределения объемов, которые отображаются в нижней части

составного окна. В то же время расчеты показывают, что использование частичного спектра $\Delta r = 0,05\div 50$ мкм и даже $\Delta r = 0,1\div 50$ мкм не приведет к значительным ошибкам в значениях $\alpha(\lambda)$ в диапазоне $\Delta\lambda = 0,4\div 12$ мкм.

В настоящее время нет одного аэрозольного счетчика для получения dN/dr как для полного, так и для частичного спектра размеров частиц аэрозоля. Для этого требуется комбинация аэрозольных счетчиков. В частности, учитывая значительную стоимость аэрозольных счетчиков, неполные спектры можно получить с помощью следующих приборов: для спектра размеров частиц аэрозоля $\Delta r = 0,01\div 0,3$ мкм — дифференциальным анализатором подвижности RDMA, производитель — Particle Measuring Systems Inc., Boulder, Co.; для $\Delta r = 0,1\div 7$ мкм — лазерным аэрозольным счетчиком OPC, производитель — TSI Inc.; и для $\Delta r = 0,3\div 20$ мкм или $0,5\div 50$ мкм — лазерным аэрозольным счетчиком типа FSSP, производитель — Particle Measuring Systems Inc., Boulder, Co.

Проводилось тестирование пакета MaexPro, которое осуществлялось путем сравнения рассчитанных и измеренных dN/dr и $\alpha(\lambda)$. Результаты тестирования показывают, что в 70% случаев модель дает хорошее совпадение с экспериментом, в 23% — удовлетворительное и в 7% результаты не совпадают [37–41].

Заключение

1. Пакет MaexPro осуществляет расчет спектральных и высотных профилей $\alpha(\lambda)$ как функций стандартных метеорологических параметров, микрофизического состава аэрозоля и позволяет через параметр fetch косвенно учесть как ветровой режим, так и параметр воздушной массы.

2. Пакет реалистично описывает влияние метеопараметров, геометрии, ветрового режима, известных эффектов и закономерностей на спектральные и высотные профили $\alpha(\lambda)$.

3. Спектральные ходы $\alpha(\lambda)$ могут быть представлены как графически, так и в виде таблиц. Предусмотрены всевозможные сервисные приложения: команды OverPlot для наложения или изменения графиков, интерполяция профилей, масштабирование и трассировка, всевозможные копирования, представление данных в виде, удобном для входа в код MODTRAN, и т.п.

4. Пользовательский интерфейс пакета MaexPro полностью управляется с помощью «мыши» и действует на стандартном PC на основе Windows. Время расчета спектрального хода $\alpha(\lambda)$ зависит от необходимого разрешения по длине волны, радиуса частиц и высоты и при высоком разрешении не превышает десятков секунд. Другие расчетные характеристики, такие как функция распределения частиц по размерам, сечение рассеяния, распределение объемов, спектральные ходы отдельных мод, выполняются почти мгновенно.

5. Программный пакет MaexPro — это постоянно совершенствуемая компьютерная программа, которую можно использовать для оценки энергетика сигнала в месте приема в зависимости от стандартных легко измеряемых метеорологических параметров, микро-

физического состава аэрозоля, спектрального диапазона приемника и геометрии трассы наблюдения.

1. Gathman S.G. Optical properties of the marine aerosol as predicted by the Navy aerosol model // Opt. Eng. 1983. V. 22. N 1. P. 57–62.
2. Gathman S.G. A preliminary description of NOVAM, the Navy Oceanic Vertical Aerosol Model. NRL Report N 9200, 1989. 22 p.
3. Gathman S.G., J. Van Eijk A.M. Characterizing large aerosols at the lowest levels of marine atmosphere // Proc. SPIE. 1998. V. 3433. P. 41–52.
4. Van Eijk A.M.J., Leeuw de G. Modeling aerosol particle size distributions over the North sea // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. N 9. P. 14417–14429.
5. Leeuw de G. Aerosol effects on electro-optical propagation over sea // Proc. SPIE. 1993. V. 1971. P. 2–15.
6. Leeuw de G. Vertical profiles of giant particles close above the sea surface // Tellus. 1986. V. 38B. P. 51–61.
7. Anderson K., Brooks B., Caffrey P. The RED Experiment: An assessment of boundary layer effects in a trade winds regime on microwave and infrared propagation over the sea // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. V. 85. P. 1355 – 1365.
8. Zeisse C.R., Gathman S.G., Jensen D.R. Low elevation transmissions measurements at EOPASE. Part 1: molecular and aerosol effects // Proc. SPIE. 1997. V. 3125. P. 109–122.
9. Jensen D.R., Zeisse C.R., Littfin K.M., Gathman S.G. EOPASE overview and initial accomplishment // Proc. SPIE. 1997. V. 3125. P. 98–108.
10. Jensen D.R., Gathman S.G., Zeisse C.R., McGrath C.P., Leeuw de G., Smith M.N., Frederickson P.A., Davidson K.L. Electro-optical propagation assessment in coastal environments (EOPACE): summary and accomplishments // Opt. Eng. 2001. V. 40. N 8. P. 1486–1498.
11. Bates T., Quinn P., Covert D.S., Coffman D.J., Johnson D. Aerosol properties and controlling processes in the lower marine boundary layer: A comparison of ACE-1 and ACE-2 // Tellus. 2000. V. 52B. P. 239–257.
12. Van Eijk A.M.J., Jensen D.R., Leeuw de G. MARTIP experiment, marine aerosol properties and thermal imager performance // Proc. SPIE. 1994. V. 2222. P. 299.
13. O'Dowd C.D., Hameri K., Makela J.M., Pirjola L., Kulmala M., Jennings S.G., Berrensheim H., Hansson H.-C., Leeuw de G., Kunz G.J., Allen A.G., Hewitt C.N., Jackson A., Viisanen Y., Hoffmann T. A dedicated study of New Particle Formation and Fate in the Coastal Environment (PARFORCE): Overview of objectives and achievements // J. Geophys. Res. D. 2002. V. 107. N 19. P. 8108–8124.
14. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 660 с.
15. Хюлст ван де Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961. 636 с.
16. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971. 168 с.
17. Mishchenko M.I., Travis L.D., Lacis A.A. Scattering, absorption and emission of light by small particles. New York: Cambridge University Press. Electronic ed., 2004. 450 p.
18. Friedlander S.K. Smoke, dust and haze: fundamentals of aerosol dynamics. Oxford University Press US, March 1, 2000. 432 p.
19. Piazzola J., Kaloshin G., Leeuw de G., Van Eijk A.M.J. Aerosol extinction in coastal zone // Proc. SPIE. 2004. V. 5572. P. 94–100.

20. *Piazzola J., Kaloshin G.* Performance evaluation of the coastal aerosol extinction code «MEDEX» with data from the Black Sea // *J. Aerosol Sci.* 2005. V. 36. N 3. P. 341–359.
21. *Kaloshin G., Piazzola J.* The Coastal Aerosol Microphysical Model // *Proc. of the 23rd International Laser Radar Conference*, 24–28 July 2006, Nara, Japan. P. 423–426.
22. *Kaloshin G., Piazzola J.* Aerosol microphysical model of the sea and coastal atmosphere surface layer // *Proc. XII Joint Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, June 27–30, 2005. P. 123.
23. *Алексеев А.В., Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Некоторые результаты моделирования микрофизических характеристик морского и прибрежного аэрозоля // X Юбилейный междунар. симпозиум. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 24–28 июня, 2003: Матер. симпозиум. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2003. С. 112.
24. *Alexeev A.V., Kaloshin G.A.* Influence of microphysical characteristics volatility of aerosol on a spectral transparency in the surface boundary layer of the atmosphere // *Proc. European Aerosol Conf. (EAC2003)*. Madrid, Spain, 31 August – 5 September, 2003. P. 40.
25. *Kaloshin G.A., Piazzola J., Shishkin S.A., Serov S.A.* Development of the coastal aerosol model // *Proc. of the 7th Int. Aerosol Conf.* St. Paul, Minnesota, USA. September 10–15, 2006. P. 1147.
26. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Расчет дальности видения световых сигналов навигационного комплекса со сканирующим полупроводниковым лазером с электронной накачкой. Ч. II. Аэрозольное ослабление и результаты расчетов // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20. № 4. С. 353–361.
27. *Shettle E.P., Fenn R.W.* Models for the aerosols of the lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical properties. AFGL-TR-79-0214. Environmental Research Papers N 676, AFGL, Hanscom AFB, MA 01731. 1979. 94 p.
28. *Volz F.E.* IR index of atmospheric aerosol substances // *Appl. Opt.* 1972. N 11. P. 755–759.
29. *Volz F.E.* Infrared optical constants of ammonium sulfate, Sahara dust, volcanic pumice and fly ash // *Appl. Opt.* 1973. N 12. P. 564–568.
30. *Hale G.M., Query M.R.* Optical constants of water in the 200 nm to 200 μ m wavelength region // *Appl. Opt.* 1973. N 12. P. 555–563.
31. *Kaloshin G.A.* Influence of Meteorological Parameters on Aerosol Extinction in the Marine Environment // *Proc. Int. Conf. on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO/LAT 2005)*. St. Petersburg, 11–15 May, 2005. P. 33.
32. *Kaloshin G.A., Piazzola J.* Aerosol Extinction in the Marine Atmospheric Surface Layer // *Proc. of the 25th Anniversary IGARSS 2005*. Seoul, Korea, 25–29 July, 2005. P. 377–378.
33. *Kaloshin G.A.* Spectral Transparency of the Sea and Coastal Atmosphere Surface Layer // *Proc. XII Joint Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, 27–30 June, 2005. P. 138–139.
34. *Kaloshin G.A., Piazzola J.* Aerosol Extinction in the Marine Atmospheric Surface Layer // *Proc. the Int. Association of Meteorol. and Atmos. Sci. (IAMAS 2005)*. Beijing, China, 2–11 August, 2005. P. A46–A47.
35. *Калошин Г.А., Серов С.А.* Программа MieCalc для расчета характеристик рассеяния света на частицах морского и прибрежного аэрозоля // *Proc. XIII Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 137.
36. *Калошин Г.А., Шишкин С.А., Серов С.А.* Развитие программного пакета MaexPro для расчета аэрозольного ослабления в приземном слое морской и прибрежной атмосферы // *Proc. XIII Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 136.
37. *Kaloshin G.A.* Near-surface aerosol extinction in the marine environment // *Proc. XI Joint Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, 23–26 June, 2004. P. 123.
38. *Kaloshin G.A., Piazzola J., Shishkin S.A.* Numerical modeling of influence of meteorological parameters on aerosol extinction in the marine atmospheric surface layer // *Nucleation and Atmospheric Aerosols 2004: 16th Int. Conf. Kyoto, Japan, 2004* / Eds: Mikio Kasahara & Markku Kulmala. Kyoto University Press, 2004. P. 352–354.
39. *Калошин Г.А.* Влияние ветрового режима на аэрозольное ослабление в приземном слое морской и прибрежной атмосферы // *Proc. XIII Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics»*. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 125.
40. *Kaloshin G.* Spectral Transparency of the Sea and Coastal Atmosphere Surface Layer // *Proc. of the 23rd Int. Laser Radar Conf.*, 24–28 July 2006. Nara, Japan. P. 427–428.
41. *Kaloshin G., Piazzola J.* Influence of the Large Aerosol Particles on the Infrared Propagation in Coastal Areas // *Proc. of the 23rd Int. Laser Radar Conf.*, 24–28 July 2006. Nara, Japan. P. 429–432.

G.A. Kaloshin, S.A. Shishkin, S.A. Serov. Development of the code MaexPro for calculation of atmospheric aerosol extinction in the marine and coastal surface layer.

The description of software code MaexPro for calculation of the signal power in the surface layer of the sea and coastal atmosphere is submitted. The key input parameter in the code is the fetch. The code allows calculating aerosol extinction as a function of standard easily measured meteorological parameters, aerosol microphysical structure, a spectral wavelength of the receiver, and observation path geometry.