

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ МАЕХПРО ДЛЯ РАСЧЕТА АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ МОРСКОЙ И ПРИБРЕЖНОЙ АТМОСФЕРЫ

© 2007 г. Г. А. Калошин*, канд. физ.-мат. наук; С. А. Шишкин*, С. А. Серов**

* Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

** Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

E-mail: gkaloshin@iao.ru

Приведено описание программного пакета МаехПро для оценки энергетики сигнала в приземном слое морской и прибрежной атмосферы. Ключевым входным параметром в пакет является область разгона волн, характеризуемая параметром fetch или расстоянием по открытой воде с наветренной стороны. Программа позволяет давать оценку аэрозольного ослабления как функции стандартных легко измеряемых метеорологических параметров, микрофизического состава аэрозоля, спектрального диапазона приемника и геометрии трассы наблюдения. Также представлены другие возможности пакета МаехПро: расчет функции распределения частиц аэрозоля по размерам, сечения рассеяния, распределения объемов.

Коды OCIS: 010.1290.

Поступила в редакцию 20.11.2006.

1. Введение

Известно, что ослабление оптического излучения видимого и ближнего ИК диапазонов в морском приземном слое определяется главным образом рассеянием и поглощением атмосферным аэрозолем. Это влияет на зависимость спектрального пропускания и ослабления 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 энергетики сигнала в прибрежных условиях при оценке характеристик ОЭП и атмосферных 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 [1–4].

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) [5], EOPACE (Electro Optical Performance Assessment in Coastal Environment) [6, 7], ASE 1, 2 (Aerosol Characterization Experiment) [8], MARTIP Experiment (Marine Aerosol Properties and Thermal Imager Performance) [9],

PARFORCE (New Particle Formation and Fate in the Coastal Environment) [10].

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

2. Содержание программного пакета МаехПро

Если распределение по размерам и показатель преломления частиц аэрозоля известны и они имеют форму сфер, то, используя положения теории Ми, можно рассчитать аэрозольное рассеяние и ослабление по следующим формулам [11, 12]:

коэффициент рассеяния

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

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, $\text{см}^{-3}\text{мкм}^{-1}$; $K_p(\rho, m)$, $K(\rho, m)$ –

коэффициенты Ми (фактор рассеяния и ослабления соответственно); $\rho = 2\pi r/\lambda$ – относительный размер частицы, m – комплексный показатель преломления, r – радиус аэрозольных частиц, мкм.

2.1. Микрофизическая модель MaexPro

Расчет dN/dr осуществлялся по последней версии одноименной микрофизической модели MaexPro [13–17]. Модель характеризуется 4-модальной функцией распределения частиц по размерам и записывается в виде суммы четырех логнормальных функций:

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

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 (области разгона волн)* X и скорости ветра U :

$$\begin{aligned} A_1 &= -25100 \ln(X/X_0) + 150040, \\ A_2 &= 10^{\{(0,0296 \ln[X/X_0 - 0,045]U/U_0) - 0,385 \ln(X/X_0) + 2,1675\}}, \\ A_3 &= 10^{\{(0,046 \ln[X/X_0 - 0,0437]U/U_0) - 0,465 \ln(X/X_0) - 0,523\}}, \\ A_4 &= 10^{\{(0,0095 \ln[X/X_0 + 0,0168]U/U_0) + 0,1424 \ln(X/X_0) - 3,2\}}, \\ C_1 &= -0,190 \ln(X/X_0) + 1,679, \\ C_2 &= -0,148 \ln(X/X_0) + 1,698, \\ C_3 &= -0,295 \ln(X/X_0) + 2,188, \\ C_4 &= 10, \end{aligned} \quad (4)$$

* Fetch широко используется в океанологии при исследованиях влияния волн на береговую линию, при оценках защиты береговых сооружений от волнового воздействия. В нашем случае он характеризует размер области и интенсивность генерации морского солевого аэрозоля. Для определения fetch нужно иметь карту района проведения измерения нужного масштаба с сеткой и направление ветра в градусах. Длина от одного берега по направлению ветра до места проведения измерений в км и есть fetch или это – длина по открытой воде с наветренной стороны. Чем больше fetch, тем с большим основанием можно считать аэрозоль морским, и чем он меньше, тем ближе аэрозоль к прибрежному. Следовательно, параметр fetch косвенно учитывает параметр воздушной массы (ПМВ) в том же смысле, в каком он используется в модели NAM [1], а именно ПМВ = 1 указывает на то, что воздушная масса соответствует морским условиям, ПМВ = 10 – прибрежным условиям, $1 < \text{ПМВ} < 10$ – промежуточным условиям.

где $X_0 = 1$ км, а $U_0 = 1$ м/с. Величина области разгона волн (fetch) – это расстояние по открытой воде с наветренной стороны.

Эмпирические соотношения (4) получены из регрессионного анализа зависимости концентрации аэрозоля от скорости ветра и величины области разгона волн. Четвертая мода представляет в микрофизической модели самые большие частицы морского аэрозоля, происхождение которых связано с ветровым режимом, механизмом сдувания брызг с гребней разрушающихся волн и влиянием зоны прибоя. Отметим, что диссипация энергии волн является ключевым параметром генерации прибойного аэрозоля. Влияние зоны прибоя является существенным, и аэрозоль прибоя может распространяться на значительные расстояния. Согласно модельным оценкам [18] концентрация “прибойного” аэрозоля падает только на порядок величины на расстоянии 25 км по ветру в предположении, что скорость ветра и коэффициент турбулентности постоянны по высоте.

Область применимости модели MaexPro:

- спектр размеров частиц по радиусу r составляет от 0,001 до 100 мкм,
- высота H изменяется в диапазоне от 0 до 25 м, где происходят наиболее существенные изменения микрофизического состава;
- скорость ветра U от 3 до 18 м/с,
- величина области разгона волн X от 3 до 120 км. Верхнее значение fetch, равное 120 км, ограничивается критерием Hsu (1986). Если fetch > 120 км, в аэрозольную модель MaexPro она входит равной 120 км;
- относительная влажность f от 40 до 98%.

2.2. Оптическая модель MaexPro

В модели MaexPro действительные и мнимые части комплексного показателя преломления для компонентов вещества аэрозоля были взяты из графических данных экспериментальных работ [19–21] и методом экстраполяции этих данных рассчитаны для диапазона длин волн λ от 0,2 до 14 мкм с шагом $\Delta\lambda = 0,0001$ мкм. Вещество аэрозоля, как пока-

Таблица 1. Компоненты вещества аэрозоля

Мода	Вещество	Размер моды, мкм	Ссылка
1	Нерастворимое вещество	0,03	[19](1979)
2	Растворимое вещество	0,24	[19] (1972)
3	Соль + вода	2	[21] (1979)
4	Соль + вода	10	[21] (1973)

зано в табл. 1, представлено в виде комбинации веществ: сухого вещества, морской соли и воды.

Кроме того, при расчете коэффициента аэрозольного ослабления $\alpha(\lambda)$ использовалась следующая экстраполяция, связанная с высотным профилем функции роста F [22–24]:

$$\frac{\alpha_H}{\alpha_{0m}} = \left(\frac{0,037}{1,017 - F_H/100} \right)^{0,84}, \quad (5)$$

где α_{0m} – коэффициент аэрозольного ослабления на высоте $H = 0$, км^{-1} ; F_H – функция роста на высоте H .

Расчет высотных профилей функции F осуществлялся при 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 $H = 25 \text{ м}$. Экстраполяция (5) годится для диапазона значений относительной влажности f от 40 до 98%.

3. Основные этапы работы программного пакета MaexPro

Для реализации программного пакета MaexPro 5.0 была выбрана среда программирования Borland Delphi 2005. Выбор данной среды программирования 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)–(5);
- 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, выраженная в 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 соответственно, 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 следующей последовательности. Вводятся входные параметры в области применимости модели. Это включает в себя ввод данных по микрофизическому составу аэрозоля, спектральному диапазону и необходимым метеорологическим условиям.

Выбор вида расчета и модели расчета. Выбор варианта расчета осуществляется из следующих опций. Вид расчета: расчет спектрального ослабления (полный вариант), расчет спектрального ослабления (пакетный вариант), расчет спектрального ослабления из измеренного распределения (в зависимости от этого расчет dN/dr проводится либо по выражениям (3), (4), 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. Выбор модели осуществляется из опций: MaexPro 5.0, MaexPro 2.0 и NAM6.

Далее идет основной цикл программы, где текущим параметром является длина волны. Осуществляется расчет dN/dr в зависимости от выбранной модели. Функция dN/dr рассчитывается для каждой моды, затем суммируется и строится суммарная мода. Далее осуществляется заполнение динамических массивов значениями длин волн и соответствующими им действительными и мнимыми частями комплексного показателя преломления. Затем рассчитывается значение комплексного показателя преломления для текущей длины волны. Для этого осуществляется поиск соответствующей длины волны в массиве; если текущей длины волны нет в массиве, то происходит расчет действительной и мнимой частей комплексного показателя преломления с помощью интерполяции. Далее происходит расчет факторов эффективности ослабления и рассеяния в соответствии с выражениями теории Ми с помощью подпрограммы MieCalc [25]. 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 происходит 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 гра-

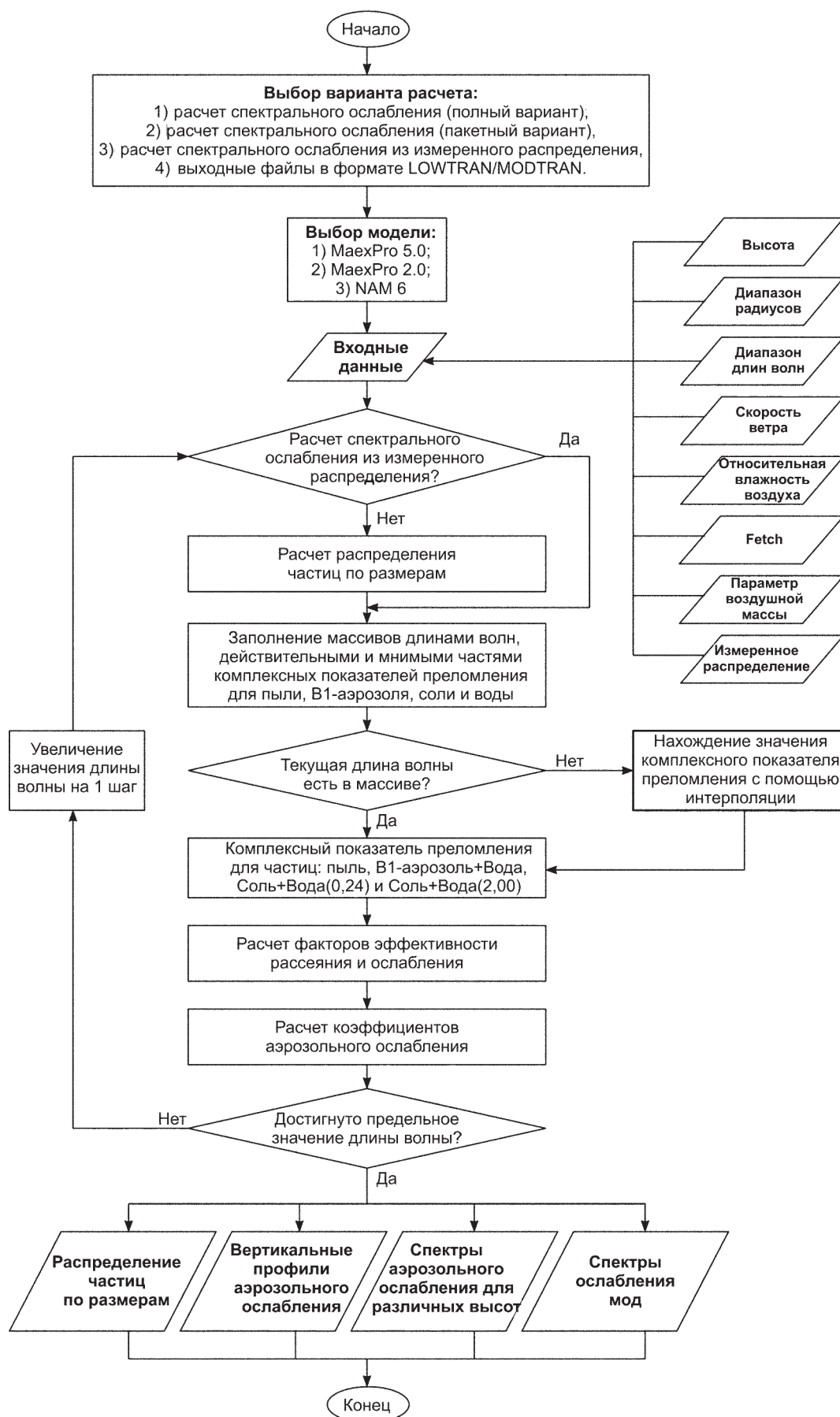


Рис. 1. Структурная схема программного пакета MaexPro.

фиков. Если же предельное значение длины волны не достигнуто, то продолжается выполнение основного цикла программы.

4. 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 составных окон. Для структурирования результатов расчета полученные данные делятся на четыре 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 распределения 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 копирова-

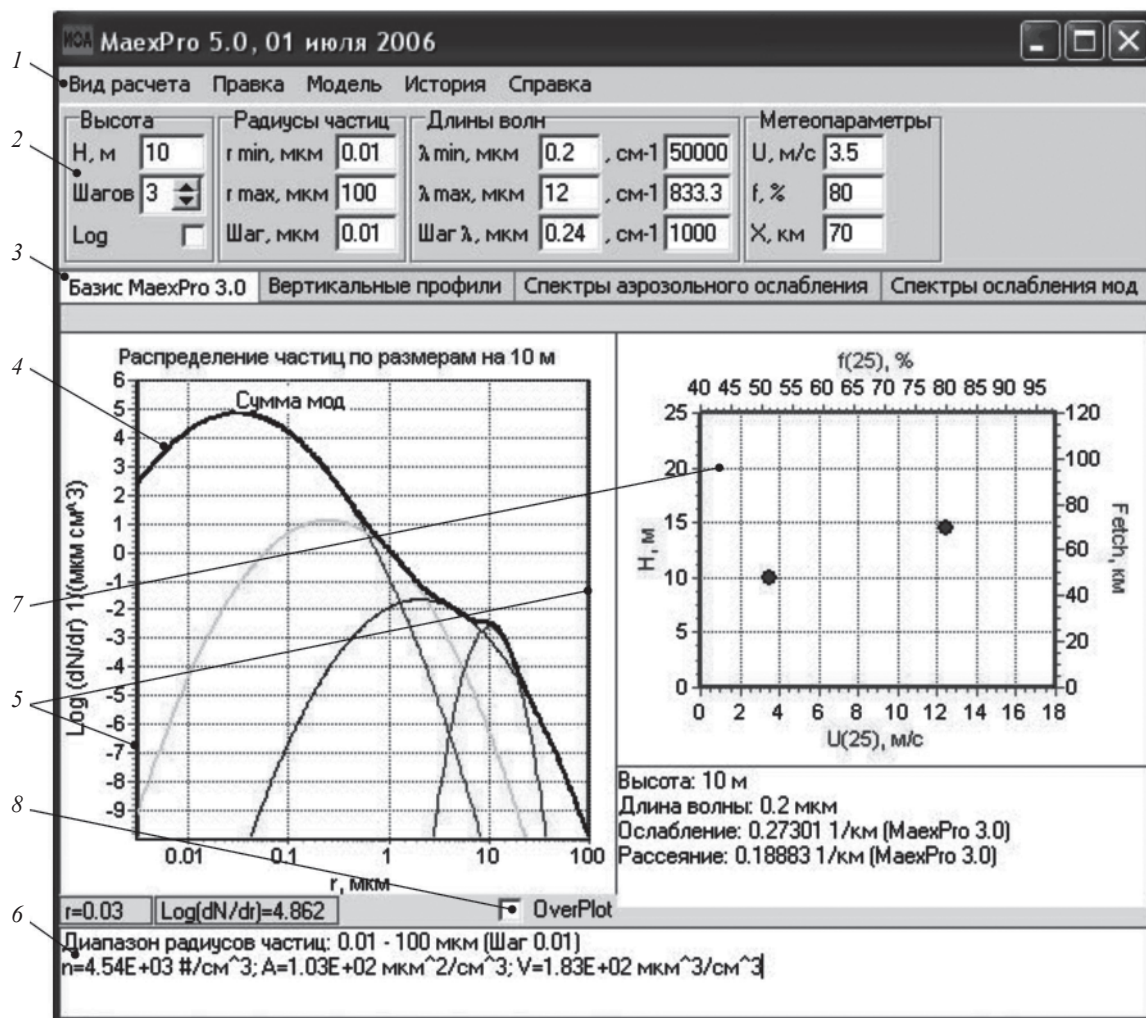


Рис. 2. Интерфейс пакета MaexPro. 1 – вид раздела, 2 – область ввода входных параметров, 3 – составные окна, 4 – функция распределения частиц по размерам, 5 – вертикальные линии (левая, правая) для установки диапазона размеров частиц аэрозоля ($r_{\min}$, $r_{\max}$), 6 – информационное окно, 7 – область геометрического задания метеопараметров, 8 – переключатель OverPlot.

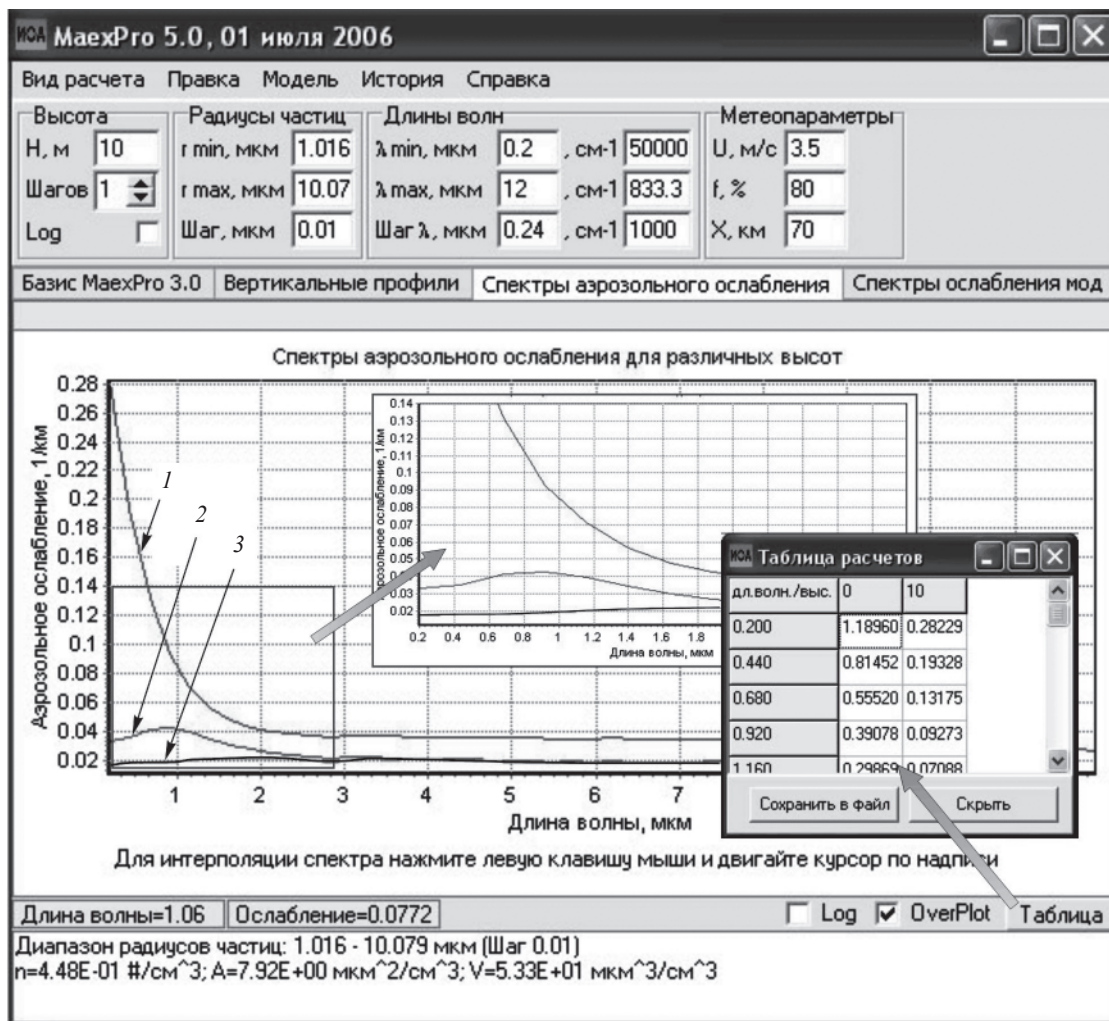


Рис. 3. Составное окно “Спектры аэрозольного ослабления” с результатом расчета для диапазонов размера частиц. 1 – $\Delta r = 0,01-100$ мкм, 2 – $\Delta r = 0,4-10$ мкм, 3 – $\Delta r = 1-10$ мкм.

ния, представление данных в виде таблиц, представление данных, удобных для входа в код MODTRAN и т. п.

На рис. 3 представлено составное окно “Спектры аэрозольного ослабления”, на котором приведены спектры аэрозольного ослабления для выбранных входных метеопараметров. Здесь же с использованием сервисной команды “переключатель OverPlot” приведены спектры $\alpha(\lambda)$, рассчитанные на основе dN/dr , которые могут быть получены с помощью аэрозольного счетчика АЗ-5 с диапазоном измерения частиц аэрозоля по радиусу $\Delta r = 0,4-10$ мкм и пылемера ОМПН-10,0 (ОПТЭК, Санкт-Петербург), осуществляющего контроль фракций в стандарте РМ-10,0, РМ-2,5 и РМ-1. Рис. 3 показывает, что для трех спектров размеров аэрозоля в диапазоне $\Delta\lambda = 2-12$ мкм $\alpha(\lambda)$ отличаются приблизительно в два раза, а в диапазоне $\Delta\lambda = 0,2-2$ мкм различия в значениях $\alpha(\lambda)$ достигают 10 и более [26].

Такие же существенные различия наблюдаются в численных значениях счетной концентрации, сечения рассеяния и распределения объемов, которые отображаются в нижней части составного окна. В табл. 2 приведены значения счетной концентрации, сечения рассеяния и распределения объемов

Таблица 2. Значения счетной концентрации, сечения рассеяния и распределения объемов при изменении спектра размеров частиц

Характеристика микроструктуры частиц аэрозоля	Спектр размеров частиц Δr , мкм		
	0,01–100	0,4–10	1–10
Счетная концентрация n , 1/см ³	$4,54E+03$	$7,26E+00$	$4,68E-01$
Сечение рассеяния A , мкм ² /см ³	$1,03E+02$	$1,42E+01$	$7,90E+00$
Распределение объемов V , мкм ³ /см ³	$1,83E+02$	$5,72E+01$	$5,22E+01$

при изменении спектра размеров частиц с $\Delta r = 0,01$ –100 мкм на $\Delta r = 0,4$ –10 мкм и $\Delta r = 1$ –10 мкм.

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 [27–30].

Выводы

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. Спектральный ход $\alpha(\lambda)$ может быть представлен 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 таблиц данных, удобных 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, спектральный ход отдельных мод, выполняются почти мгновенно.

Программный пакет MaexPro является постоянно совершенствуемой компьютерной программой и может быть использован для оценки энергетики сигнала в месте приема как функции стандартных легко измеряемых метеорологических параметров, микрофизического состава аэрозоля, спектрального диапазона приемника и геометрии трассы наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gathman S.G. Optical properties of the marine aerosol as predicted by the Navy aerosol model // Opt. Engin. 1983. V. 22. № 1. P. 57–62.
2. 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.
3. J. Van Eijk A.M., Leeuw de G. Modeling aerosol particle size distributions over the North sea // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. № 9. P. 14417–14429.
4. Leeuw de G. Aerosol effects on electro-optical propagation over sea // Proc. SPIE. 1993. V. 1971. P. 2–15.
5. 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 // Bulletin Amer. Meteor. Soc. 2004. V. 85. P. 1355–1365.
6. 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.
7. Jensen D.R., Gathman S.G., Zeisse C.R., McGrath C.P., Leeuw de G. et al. Electro-optical propagation assessment in coastal environments (EOPACE): summary and accomplishments // Opt. Engin. 2001. V. 40. № 8. P. 1486–1498.
8. 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. 52 B. P. 239–257.
9. J. Van Eijk A.M., Jensen D.R., Leeuw de G. MARTIP experiment, marine aerosol properties and thermal imager performance // Proc. SPIE. 1994. V. 2222. P. 299.
10. O'Dowd C.D., Hameri K., Makela J.M., Pirjola L. et al. A dedicated study of New Particle Formation and Fate in the Coastal Environment (PARFORCE): Overview of objectives and achievements // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № D19. P. 8108.
11. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 660 с.
12. Mishchenko M.I., Travis L.D., Lacis A.A. Scattering, absorption and emission of light by small particles. New York: Cambridge University Press. Electronic edition, 2004. 450 p.
13. Piazzola J., Kaloshin G., Leeuw de G., J. Van Eijk A.M. Aerosol extinction in coastal zone // Proc. SPIE. 2004. V. 5572. P. 94–100.
14. Piazzola J., Kaloshin G. Performance evaluation of the coastal aerosol extinction code “MEDEX” with data from the Black Sea // J. Aerosol Science. 2005. V. 36. № 3. P. 341–359.
15. Kaloshin G., Piazzola J. The Coastal Aerosol Microphysical Model // Proc. of the 23rd International Laser Radar Conference. Nara, Japan, July 24–28, 2006. P. 423–426.
16. 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 Conference (EAC2003). Madrid, Spain, 31 August – 5 September, 2003. P. 40.

17. Kaloshin G.A., Piazzola J., Shishkin S.A., Serov S.A. Development of the coastal aerosol model // Proc. of the 7 th International Aerosol Conference St. Paul, Minnesota, USA, September 10-15. 2006. P. 1147.
18. Piazzola J., Forget P., Despiiau S. A sea spray generation function for fetch-limited conditions // Ann. Geophys. 2002. V. 20. № 1. P. 121–131.
19. Volz F.E. IR index of atmospheric aerosol substances // Appl. Opt. 1972. № 11. P. 755–759.
20. Volz F.E. Infrared optical constants of ammonium sulfate, Sahara dust, volcanic pumice and fly ash // Appl. Opt. 1973. № 12. P. 564–568.
21. Hale G.M., Query M.R. Optical constants of water in the 200 nm to 200 μ m wavelength region // Appl. Opt. 1973. № 12. P. 555–563.
22. Kaloshin G.A. Influence of Meteorological Parameters on Aerosol Extinction in the Marine Environment // Proc. International Conference on Coherent and Nonlinear Optics and International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO/LAT 2005). St.-Petersburg, May 11–15, 2005. P. 33.
23. Kaloshin G.A. Spectral Transparency of the Sea and Coastal Atmosphere Surface Layer // Proc. XII Joint International Symposium “Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics”. Tomsk, June 27–30, 2005. P. 138–139.
24. Kaloshin G.A., Piazzola J. Aerosol Extinction in the Marine Atmospheric Surface Layer // Proc. the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS 2005). Beijing, China, August 2–11, 2005. P. A46-A47.
25. Калошин Г.А., Серов С.А. Программа MieCalc для расчета характеристик рассеяния света на частицах морского и прибрежного аэрозоля // Proc. XIII International Symposium “Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics”. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 137.
26. Калошин Г.А., Шишкин С.А., Серов С.А. Развитие программного пакета МаехPro для расчета аэрозольного ослабления в приземном слое морской и прибрежной атмосферы // Proc. XIII International Symposium “Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics”. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 136.
27. 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. 16 th International Conference. Kyoto Univ. Press, 2004. P. 352–354.
28. Калошин Г.А. Влияние ветрового режима на аэрозольное ослабление в приземном слое морской и прибрежной атмосферы // Proc. XIII International Symposium “Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics”. Tomsk, July 2–6, 2006. P. 125.
29. Kaloshin G. Spectral Transparency of the Sea and Coastal Atmosphere Surface Layer // Proc. of the 23 rd International Laser Radar Conference. Nara, Japan, July 24–28, 2006. P. 427–428.
30. Kaloshin G., Piazzola J. Influence of the Large Aerosol Particles on the Infrared Propagation in Coastal Areas // Proc. of the 23rd International Laser Radar Conference. Nara, Japan, July 24–28, 2006. P. 429–432.