

УДК 551.521.3

М.В. Панченко, С.А. Терпугова, В.В. Польшкин

## ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Данная работа завершает цикл публикаций [1–5], посвященных формированию эмпирической модели оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы для видимой и ближней ИК-областей спектра.

Модель предусматривает восстановление вертикального профиля аэрозольного коэффициента рассеяния. Для этого используются следующие входные параметры: приземные значения коэффициента рассеяния сухой основы аэрозоля на длине волны 0,52 мкм и относительной влажности воздуха, средняя температура нижних слоев атмосферы и аэрозольная оптическая толщина.

Для оценки всего комплекса оптических характеристик предложено в качестве первого приближения использовать однопараметрическую модель приземного аэрозоля с соответствующей коррекцией по вертикальному профилю  $\sigma(H)$ .

### Введение

Эмпирическая модель оптических характеристик создана на основе данных самолетного зондирования нижней тропосферы над территорией Западной Сибири. Известно, что основные принципы, закладываемые в модель, зависят от назначения модели и от того объема и качества информации (экспериментальной или теоретической), которой располагают исследователи.

В современной практике аэрозольных исследований мы условно выделяем два основных подхода к разработке эмпирических моделей: «оптический» и «микрофизический» [6]. Каждый из этих подходов имеет свои достоинства и недостатки. В частности, «микрофизический» позволяет с использованием теоретических расчетов обеспечить вычисление любой из необходимых оптических характеристик. Но здесь остается открытым вопрос о возможных ошибках при их оценке. Действительно, при эмпирическом задании вида функции распределения частиц по размерам и их оптических постоянных (что само по себе является большой проблемой) весьма трудно оценить вклад частиц, измерение которых не проводилось из-за ограниченных технических возможностей измерительной аппаратуры, в рассчитываемые оптические параметры (это, как правило, частицы самой мелкой нуклеационной моды и значительная часть грубодисперсной фракции).

«Оптический» подход, в принципе, свободен от этого рода недостатков, но существенно ограничен только тем спектральным диапазоном и теми оптическими характеристиками, которые непосредственно измерялись в эксперименте. Для приземных атмосферных дымок ограниченность «оптического» подхода в определенной степени была преодолена с использованием метода «микрофизической экстраполяции» [7], что позволило расширить границы их применимости для всего видимого диапазона длин волн [6].

Разработкой малопараметрических моделей приземных атмосферных дымок и их «микрофизической

экстраполяцией» [6, 8] был завершен один из важных и плодотворных этапов в изучении атмосферного аэрозоля. Правда, в современной научной литературе и практике моделирования этот подход не получил заслуженного распространения, что, на наш взгляд, в первую очередь обусловлено незавершенностью адаптации этих моделей для практического использования и недостаточной работой по объяснению их физической сущности (по-видимому, разъяснение этого вопроса возможно в специальной публикации).

Тем не менее при постановке длительного крупномасштабного эксперимента с использованием самолета-лаборатории мы основывались на опыте, полученном при интерпретации однопараметрической модели угловых характеристик рассеянного излучения для приземных атмосферных дымок и тех основных закономерностях изменчивости атмосферного аэрозоля, которые следуют из такого представления [6, 8].

### Стратегия эксперимента

В основу нашего подхода были положены следующие соображения.

1. Поскольку однопараметрическая модель угловых характеристик сформирована на базе данных, полученных для длин волн видимой области спектра, то отражаемые ею закономерности в изменчивости аэрозольных свойств обусловлены в основном *субмикронными частицами*.

2. *Коэффициент рассеяния* является одним из наиболее *чувствительных* параметров к различного рода изменениям микрофизических свойств субмикронного аэрозоля (по выражению Г.В. Розенберга [9], «запоминаемых» атмосферой).

3. Трансформация коэффициента рассеяния в реальной атмосфере определяется двумя основными процессами: изменением количества «сухого» вещества аэрозоля (т.е. процессы генерации, старения, накопления и стока) и изменением микрофизических параметров аэрозоля под действием *относительной влажности воздуха*. Понятно, что эти два процесса

обусловлены внешними геофизическими факторами разного пространственно-временного масштаба.

Отсюда следует, что для правильного понимания роли того или иного фактора в изменчивости оптических характеристик аэрозоля (а следовательно, и большей потенциальной возможности их учета в динамической модели) необходимо параллельно проводить измерения характеристик «сухого» вещества и их реакции на изменение относительной влажности воздуха.

Конечно, идеально было бы измерять спектральные угловые зависимости компонент матрицы рассеяния, но аппаратные и финансовые проблемы не позволили нам создать подобного рода прибор, пригодный для размещения и длительной эксплуатации на борту самолета-лаборатории. Поэтому для исследования коэффициента рассеяния субмикронного аэрозоля нефелометрическим способом была использована бортовая установка с устройством для искусственного изменения влажности воздуха и температурного воздействия на аэрозольные частицы (описание работы установки и методики калибровки см. в [1]).

#### **Краткий анализ массива экспериментальных данных**

Для Западно-Сибирского региона был сформирован массив из 602 вертикальных профилей, измеренных во все сезоны года в разнообразных метеорологических и синоптических ситуациях. При формировании массива были исключены данные, полученные непосредственно над городами и в районах, близких к крупным промышленным центрам. Далее, в соответствии с климатическим определением сезонов года, характерных для исследуемого региона [10], было проведено разбиение массива по сезонам. Внутри каждого из сезонов проводился анализ повторяемости ситуаций для разных типов воздушных масс и барических образований. Анализ показал, что анализируемые частоты повторяемости находятся в хорошем соответствии с данными многолетних наблюдений. Аналогично было проведено сравнение вертикальных профилей измеренных метеопараметров со средними многолетними данными аэрологического зондирования [1].

Согласие проанализированных синоптических и метеорологических характеристик атмосферы за период наших наблюдений со среднеклиматическими величинами для данного региона позволяет считать, что полученный массив аэрозольных характеристик также отражает наиболее типичные черты, присущие исследуемому географическому району.

#### **Выбор входных параметров**

Очевидно, что статистические по своей сути модели отражают только наиболее характерные свойства аэрозольных частиц и их изменчивости под влиянием комплекса атмосферных параметров и затухают специфические моменты, присущие отдельным реализациям. Отсюда следуют два основных

момента: во-первых, их нельзя использовать при решении задач, требующих высокой точности в описании оптических характеристик для конкретных атмосферных условий, и, во-вторых, эти модели могут быть только малопараметрическими, поскольку изменчивость оптических характеристик, «запоминаемая» в эмпирической модели, отразит только наиболее часто воспроизводящиеся ситуации, реализующиеся при воздействии множества внешних аэрозольных и погодных факторов, которые, в свою очередь, сложным образом взаимосвязаны.

Формирование единой модели оптических характеристик аэрозоля вне зависимости от сезонов года невозможно, поскольку априорно понятно, что в течение года меняются состояние подстилающей поверхности, состав и мощность источников частиц и паров аэрозолеобразующих веществ, а также пропускная способность стоков.

Отсюда в качестве первой и основной параметризации был выбран естественный принцип разбиения по сезонам. Анализ показал, что дальнейшее дробление массива экспериментальных данных по календарному принципу, например по месяцам года, нецелесообразно. Действительно, метеорологические параметры атмосферы и состояние окружающей среды год от года испытывают значительные вариации [10] (ведь даже покрытие снегом подстилающей поверхности или сход снежного покрова, а также замерзание или вскрытие рек в нашем регионе в разные годы приходится на разный календарный период).

На рис. 1 для иллюстрации приведены вертикальные профили коэффициентов рассеяния сухой основы аэрозоля в абсолютных единицах для двух сезонов. Видим, что и внутри каждого из сезонов вариации наблюдаемых величин весьма велики.

Следовательно, даже использование каких-либо среднесезонных характеристик не может обеспечить приемлемой для практических оценок точности.

Анализ факторов внутрисезонной изменчивости вертикального профиля коэффициентов рассеяния сухой основы субмикронного аэрозоля показал, что учет типов воздушной массы и метеорологических параметров атмосферы позволяет использовать их для параметризации модели [2–4].

Но в очередной раз необходимо отметить следующий важный момент. Весь опыт аэрозольных исследований (см., например, [11]) говорит о том, что попытки создания динамических моделей оптических или микрофизических характеристик аэрозоля, в которых в качестве входных параметров использовались бы только синоптические или метеорологические величины, на сегодняшний день проблематичны. Действительно, «аэрозольная» погода в конкретном пункте наблюдения в заданный момент времени определяется не только метеорологическими и синоптическими факторами, но и сложным комплексом глобальных и локальных собственно *аэрозольных процессов*, имеющих природное и антропогенное происхождение [11].

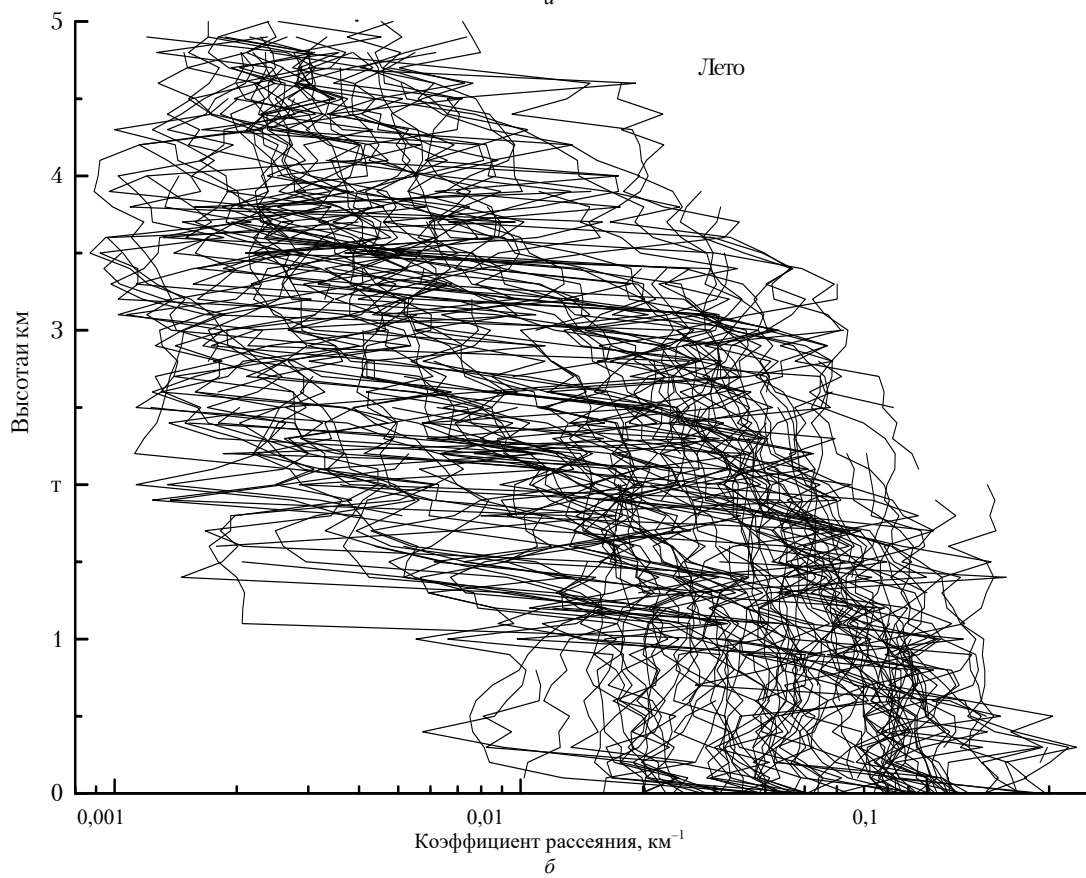
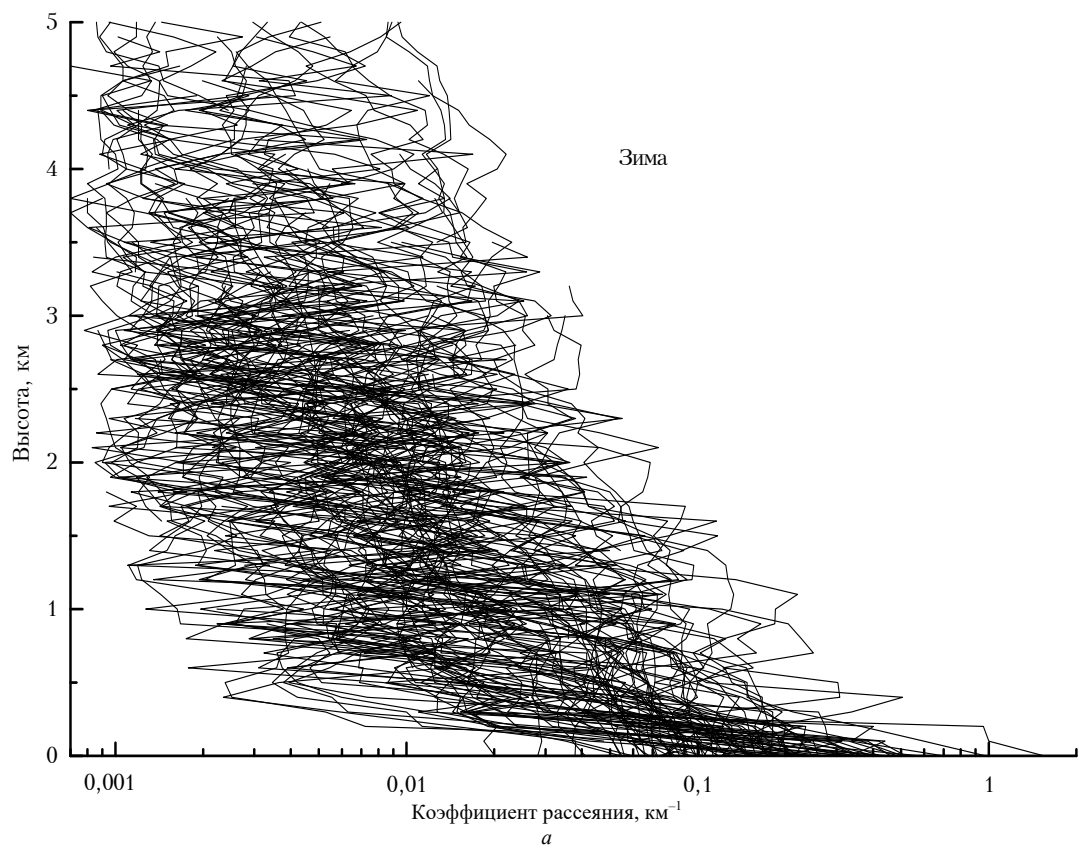


Рис. 1. Конкретные реализации вертикальных профилей «сухого» коэффициента рассеяния

Построение модели, учитывающей и прогнозирующей все многообразие факторов, представляя собой перспективную цель, требует для своей реализации постановки длительных многолетних экспериментов, разветвленной сети мониторинга значительного числа атмосферных параметров, включая аэрозольные характеристики, развития моделей прогноза погоды и климата.

С учетом сказанного следует, что на первых этапах построения модели наиболее целесообразно использовать в качестве наиболее важных входных параметров непосредственно измеряемые *in situ* аэрозольные характеристики, которые и несут в себе качественную и количественную информацию о конкретном состоянии аэрозоля. И лишь по мере углубления наших знаний об «аэрозольной» погоде для конкретного географического района при различных состояниях атмосферы возможен переход к параметризации на основе только метеорологической информации.

В принципе, среди большого числа оптических или микрофизических характеристик, которые могут быть измерены (или, в случае климатического моделирования, рассчитаны) и использованы в качестве входных параметров, можно условно выделить две группы: данные, определяемые для приземного слоя атмосферы, и данные, получаемые наземными системами о вертикальных профилях или об общей оптической толщине. Подробно этот вопрос обсуждался в [5], поэтому здесь отметим лишь то, что на этом этапе апробации модели были выбраны только легко измеряемые параметры.

В группе «приземных измерений» – это коэффициенты рассеяния («влажные», т.е. *in situ*, или «сухие», т.е. приведенные к нулевой относительной влажности), температура и относительная влажность воздуха.

В группе «зондирование» рассматривались возможности получения информации о вертикальных профилях метеопараметров и применения фотометров для измерения оптической толщи.

#### Анализ ошибок восстановления

Детальное описание схемы восстановления вертикального профиля коэффициентов рассеяния представлено в [5]. Избегая повтора, приведем только конкретные эмпирические характеристики модели, которые были использованы для восстановления профилей, и проиллюстрируем ее работоспособность.

Итак, если мы располагаем сведениями о приземных значениях коэффициента рассеяния (*in situ*  $\sigma$  или приведенного к нулевой относительной влажности  $\sigma_d$ ), то начало восстановления осуществляется через величину  $\sigma_d(0)$  (если же приземные измерения проведены для  $\sigma$ , то предварительно рассчитывается  $\sigma_d(0)$  с использованием формулы Кастена–Хенела

$$\sigma = \sigma_d (1 - R)^{-\gamma}, \quad (1)$$

где  $R$  – относительная влажность воздуха;  $\gamma$  – параметр конденсационной активности.

Затем восстанавливается вертикальный профиль  $\sigma_d(H)$  через линейные эмпирические уравнения вида

$$\sigma_d(H) = K(H) \sigma_d(0) + C(H), \quad (2)$$

где  $K(H)$  и  $C(H)$  — эмпирические коэффициенты для соответствующего (по внешним факторам) массива наблюдательных данных.

В табл. 1 приведены значения эмпирических коэффициентов регрессионного уравнения (2) для разных сезонов.

При наличии информации о температуре воздуха вычисляется высота слоя перемешивания по формуле, предложенной в [2], затем осуществляется коррекция коэффициентов  $K(H)$  и  $C(H)$  в эмпирическом уравнении (2), и вертикальный профиль  $\sigma_d(H)$  восстанавливается уже по скорректированному уравнению.

Далее рассчитанные коэффициенты рассеяния «сухого» аэрозоля приводятся к значениям относительной влажности воздуха на соответствующей высоте по формуле (1). Здесь возможны три варианта: 1) если отсутствует информация о профиле  $R(H)$ , то используются среднесезонные значения  $\bar{R}(H)$ ; 2) если исследователь располагает данными приземной влажности, то профиль  $R(H)$  восстанавливается, используя корреляционные связи  $R(H)$  и  $R(0)$ , по эмпирическим уравнениям, аналогичным формуле (2); и, наконец, 3) если имеются данные измерений профиля  $R(H)$  (например, аэрологического зондирования), то используются истинные значения относительной влажности.

На последнем этапе производится коррекция восстановленного профиля с учетом оптической толщи  $\tau$  по методике, описанной в [5].

На рис. 2 представлены профили отношения среднеквадратической ошибки восстановления  $\sigma(H)$  к среднеквадратическому отклонению исходного массива данных для каждого из сезонов при последовательном увеличении числа учитываемых входных параметров. Рассматриваются следующие варианты: 1) восстанавливается профиль «сухой» основы аэрозоля по приземному значению  $\sigma_d(0)$ , увлажнение проводится по среднесезонному профилю  $\bar{R}(H)$ ; 2) профили «сухой» основы и относительной влажности восстанавливаются через свои приземные значения; 3) в дополнение к схеме п. 2 производится учет высоты слоя перемешивания, используя среднюю температуру от 0 до 3 км; 4) к п. 3 добавляется учет аэрозольной оптической толщи  $\tau$ ; 5) процедура восстановления та же, что и в п. 4, но увлажнение «сухих» коэффициентов рассеяния производится по реальному измеренному профилю относительной влажности  $R_{\text{изм}}$ .

### Коэффициенты регрессионного уравнения

Зима			Весна			Лето			Осень		
$H, \text{ км}$	$K(H)$	$C(H)$	$H, \text{ км}$	$K(H)$	$C(H)$	$H, \text{ км}$	$K(H)$	$C(H)$	$H, \text{ км}$	$K(H)$	$C(H)$
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0,4	0	0,072	0,4	0,57	0,024	0,6	0,58	0,011	0,4	0,32	0,016
1,2	0	0,028	1,4	0,23	0,014	2,8	0,30	-0,0054	1,2	0,10	0,022
2,6	0	0,0077	2,4	-0,06	0,026	3,4	0,081	0,003	2,4	0	0,0065
5	0	0,004	5	-0,094	0,024	5	0	0,0026	5	0	0,0028

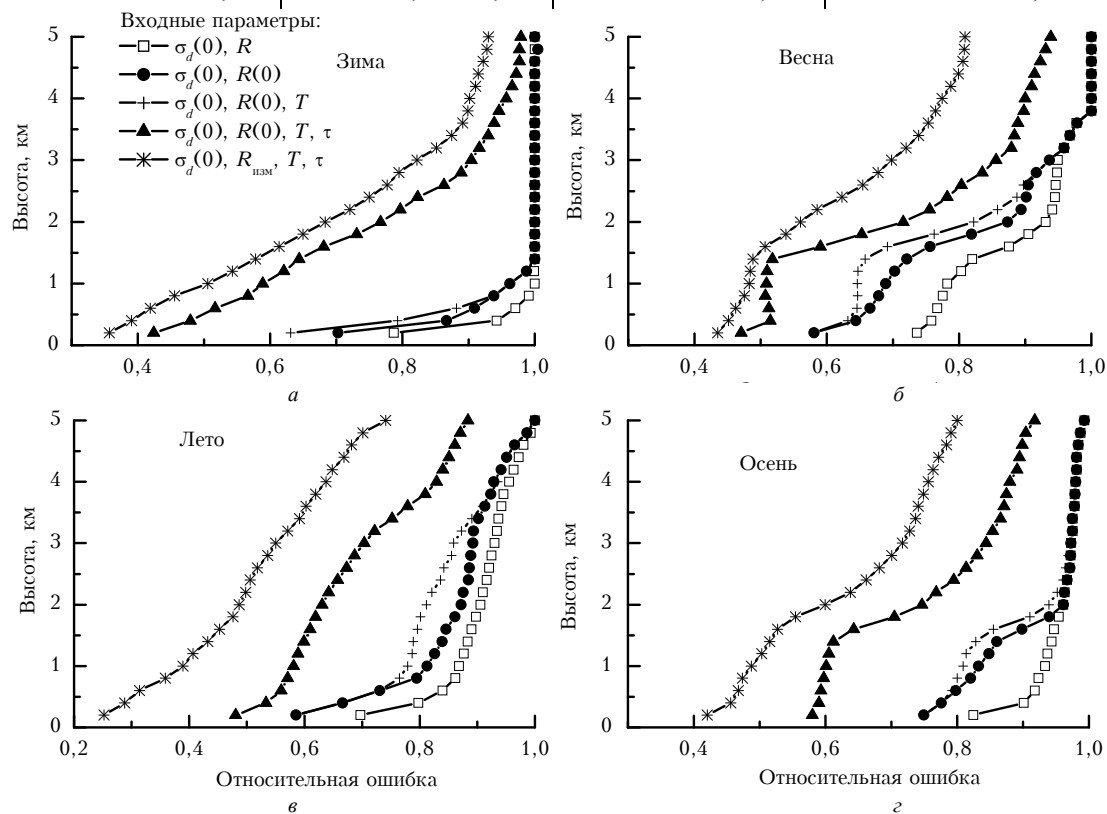


Рис. 2. Отношение среднеквадратической ошибки восстановления к среднеквадратическому отклонению исходного массива данных

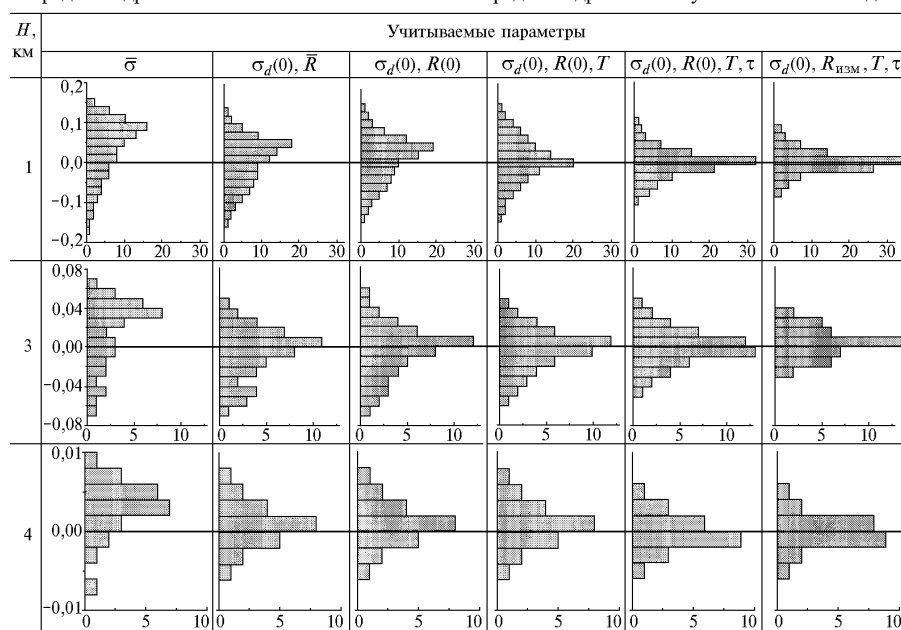


Рис. 3. Гистограммы распределения ошибок восстановления

Для иллюстрации конкретного распределения ошибок восстановления на рис. 3 приведены их гистограммы для летнего сезона. В качестве примера взяты три высоты: внутри слоя перемешивания (1 км), в окрестности его среднесезонной верхней границы (3 км) и в свободной атмосфере (4 км). В первой колонке приведены гистограммы ошибок в случае, когда данные измерений не используются, а в качестве восстановленного рассматривается среднесезонный профиль  $\bar{\sigma}(H)$ . Далее – те же случаи восстановления  $\sigma(H)$ , что и на рис. 2. Видим, что с увеличением числа учитываемых входных параметров распределение ошибок сужается и становится ближе к нормальному на всех высотах. Если для восстановления профиля используется только один входной параметр – приземный коэффициент рассеяния, то получаемая при этом гистограмма ошибок на высотах внутри слоя перемешивания явно не симметрична. Вблизи верхней границы этого слоя распределение даже становится бимодальным. Введение дополнительного входного параметра – средней температуры нижних слоев атмосферы (или приземной температуры) – позволяет рассчитать высоту слоя перемешивания для конкретного восстанавливаемого профиля. Тем самым не только снижается среднеквадратическая ошибка, но и нормализуется ее распределение. Повысить точность восстановления аэрозольных коэффициентов рассеяния в свободной атмосфере удастся только при учете оптической толщи.

Трансформация распределений ошибок при увеличении числа входных параметров для других сезонов имеет те же самые характерные тенденции.

Понятно, что даже при таком подходе ошибки достаточно велики и вряд ли восстановленные значения аэрозольных характеристик могут быть использованы для каких-либо тонких оперативных оценок. Более того, дополнительным серьезным источником ошибок является и наше незнание значений параметра конденсационной активности аэрозоля на разных высотах в конкретный момент времени. В настоящей работе мы использовали только его среднюю величину  $\gamma = 0,5$ . Проведенный нами цикл самолетных и приземных измерений показал, что величина  $\gamma$  от случая к случаю варьирует заметным образом, имеет свои сезонные особенности и определенный вертикальный ход [12]. Но тот объем экспериментального материала, которым мы располагаем на данном этапе, не позволил провести четкую параметризацию изменчивости этого параметра, а следовательно, и включить его в предлагаемую модель.

В то же время видно, что уже на этом этапе формирования модели применение такого подхода обеспечивает восстановление коэффициентов рассеяния в диапазоне высот 0–5 км с точностью, которая на сегодняшний день вряд ли может быть достигнута в имеющихся моделях. В частности, для летних условий применение схемы, учитывающей

приземные значения  $\sigma_d(0)$ , температуру воздуха  $T(H)$  и величину оптической толщи  $\tau$ , позволяет снизить неопределенность в оценке  $\sigma(H)$  в 2–3 раза по сравнению со случаем, когда используется среднесезонное значение  $\bar{\sigma}(H)$ .

### **О возможности восстановления угловых и спектральных характеристик рассеянного излучения**

Как уже подчеркивалось, коэффициент рассеяния является одним из наиболее чувствительных параметров к различного рода изменениям микрофизических свойств субмикронного аэрозоля и используется в качестве основного входного параметра в однопараметрических моделях угловых характеристик рассеянного излучения и спектральных коэффициентов ослабления для приземных дымок [6, 8].

Напрямую воспользоваться знанием коэффициента рассеяния для восстановления аэрозольных оптических характеристик по вертикали невозможно. Во-первых, с ростом высоты, как правило, уменьшается количество аэрозольных частиц, а следовательно, те эмпирические коэффициенты связи между коэффициентом рассеяния и другими оптическими параметрами, которые были получены в приземных условиях, должны быть определенным образом скорректированы. Эта проблема довольно просто решается в нашей модели, поскольку одним из этапов восстановления является построение профиля «сухого» аэрозоля, который как раз соответствует характерному изменению содержания частиц.

Во-вторых, и это самое главное, необходимо убедиться, что с ростом высоты не происходит существенных изменений микрофизического состава аэрозоля по сравнению с приземным, поскольку в противном случае полученные в однопараметрическом представлении эмпирические связи становятся просто не пригодными для каких-либо оценок.

Для реализации основной идеи по применению приземной однопараметрической модели ко всему диапазону высот 0–5 км был проведен статистический анализ функций распределения частиц по размерам, которые измерялись с помощью фотоэлектрического счетчика параллельно с коэффициентом рассеяния во время самолетных экспериментов. Измерения микроструктуры аэрозоля были проведены группой Б.Д. Белана и были любезно предоставлены авторам настоящей работы для анализа. Нами были проанализированы профили 12 отдельных фракций аэрозоля в диапазоне размеров частиц от 0,4 до 10 мкм по диаметру (свыше 5000 отдельных спектров для Западно-Сибирского региона).

На рис. 4 для различных сезонов 1986–1988 гг. представлены концентрации отдельных фракций, нормированные на концентрацию частиц первого диапазона счетчика. Кривые сглажены по методу скользящего среднего для трех точек. Размеры диапазонов

приведены с учетом коэффициента преломления калибровочных частиц и реально измеряемых частиц [13]. Столбиками показано количество измерений на каждой высоте.

Из рисунка видно, что в первом приближении относительный вклад частиц, находящихся в диапа-

зоне измерений счетчика, в формирование спектра размеров слабо изменяется с высотой. Летом лишь достоверно проявляется повышенное содержание в функции распределения частиц 0,6–0,8 мкм на высотах, прилегающих к верхней границе слоя перемешивания (от 1,5 до 3 км).

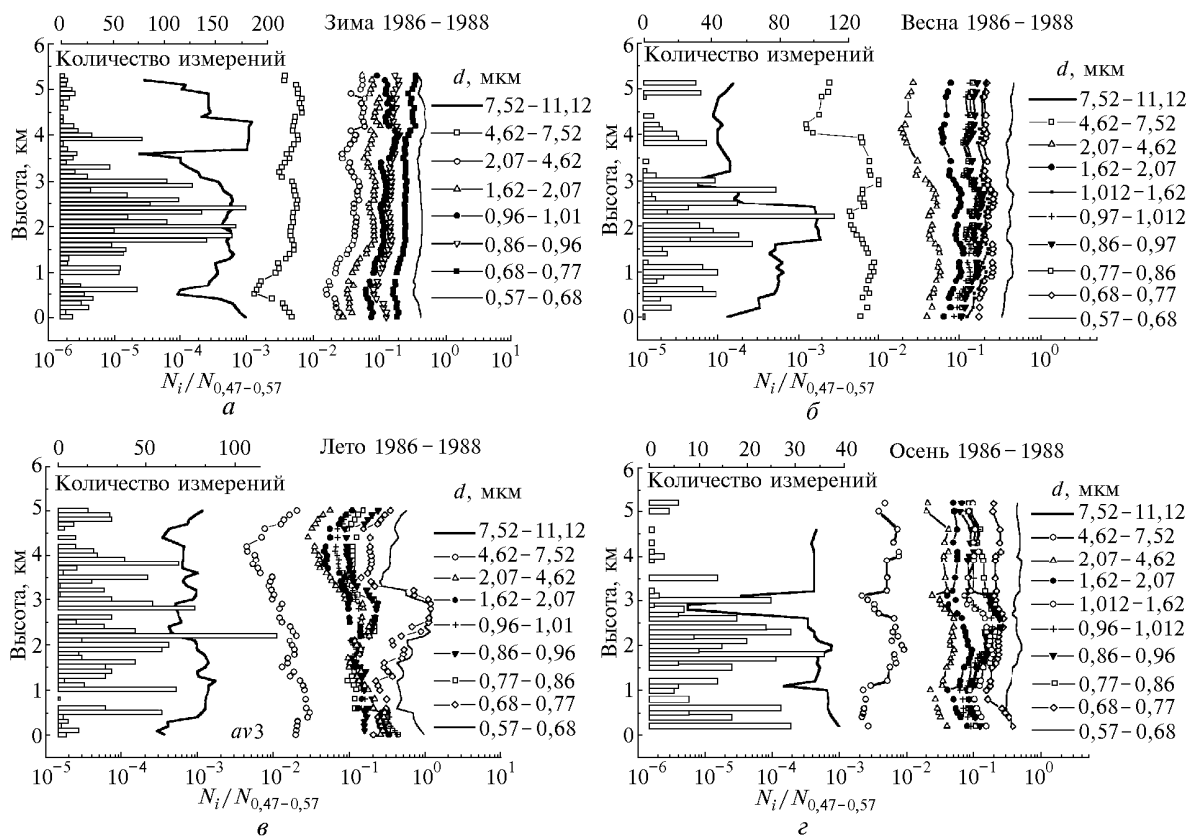


Рис. 4. Относительные концентрации отдельных фракций частиц

Проведенные расчеты угловых зависимостей компонент матрицы рассеяния по теории Ми показали, что в первом приближении для углов рассеяния вне ореола (а именно для этой области углов и создана однопараметрическая модель приземных дымок [6]) можно пренебречь особенностями поведения функции распределения. Следовательно, здесь, не претендуя на высокую точность оценки, возможно применение однопараметрической модели для длин волн видимой области спектра (тем более, вспоминая о не очень высокой точности восстановления входного параметра – коэффициента рассеяния).

Возможности же расширения границ применимости такого подхода на больший спектральный интервал оцениваются нами весьма пессимистично.

Проведенные расчеты показали, что даже хорошо обеспеченный массив данных измерений микроструктуры частиц с помощью фотоэлектрического счетчика не позволяет осуществить корректную экстраполяцию функции распределения за границы измеряемых размеров частиц. Особенно существенный разброс наблюдается в области частиц больше не-

скольких микрон по радиусу, что делает невозможными попытки более-менее корректно оценить оптические характеристики в области длин волн, больших чем 1 мкм. Отсюда следует, что предлагаемая нами эмпирическая модель обоснованно может использоваться только в видимой и ближней ИК-областях спектра.

Более подробный анализ особенностей микроструктуры в диапазоне высот от 0 до 5 км и их оптических характеристик выходит за рамки настоящей работы и требует отдельного обсуждения. Здесь мы лишь ограничимся выводом о том, что отсутствие резкой перестройки спектра размеров с высотой позволяет надеяться на применимость однопараметрического представления для грубых оценок угловых зависимостей характеристик рассеянного излучения и спектрального хода коэффициентов ослабления для длин волн видимой области спектра.

Таким образом, рецептура коррекции однопараметрической модели приземных дымок основывается на следующем предположении: по вертикали в каждом конкретном профиле меняется содержание су-

хой основы аэрозольных частиц, а функция распределения частиц по размерам и их физико-химические свойства близки на разных высотах. Отсюда следует, что основная изменчивость всей совокупности нормированных оптических характеристик определяется в первую очередь соотношением объемного содержания воды и сухого вещества в составе аэрозольных частиц. В этом случае вход в однопараметрическую модель может быть осуществлен через эмпирическую схему, в которой для заданной высоты сначала восстанавливается значение «сухого» коэффициента рассеяния, затем для конкретной относительной влажности воздуха рассчитывается величина коэффициента *in situ*, далее определяется соотношение сухого вещества и воды. На основе полученного соотношения между объемом сухого вещества и воды из однопараметрической модели приземных атмосферных дымок восстанавливаются все необходимые оптические характеристики, нормированные на коэффициент рассеяния. Далее осуществляется привязка абсолютных значений к восстановленному для данной высоты коэффициенту рассеяния.

В этом случае можно показать, что формальный вход в однопараметрическую модель может быть осуществлен через следующую эмпирическую зависимость [14]:

$$\lg \sigma_{\text{одн}} = 2,84 \gamma (1 - R) - 1,61. \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_{\text{одн}}$  должен рассматриваться только как параметр для входа в однопараметрическую модель;  $\gamma$  – параметр конденсационной активности для конкретной реализации при восстановлении  $\sigma(H)$ ;  $R$  – относительная влажность воздуха.

Процедура входа в однопараметрическую модель будет следующая: восстановив  $\sigma_d$  на некоторой высоте  $H$ , после увлажнения по формуле (1) определяем  $\sigma(H)$ ; далее по формуле (3) определяем  $\sigma_{\text{одн}}$ .

Затем по  $\sigma_{\text{одн}}$  восстанавливаются компоненты приведенной матрицы рассеяния и индикатриса рассеяния  $f(\varphi)$  (численные значения эмпирических коэффициентов однопараметрической модели приведены в [6]). Абсолютные значения угловых характеристик на конкретной высоте вычисляются через восстановленный для этой высоты коэффициент рассеяния, т.е.  $\sigma(H)$ .

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
г. Томск

## Заключение

На основе данных самолетного зондирования сформирована эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы для Западной Сибири. Поскольку выявлены ведущие факторы, обуславливающие изменчивость содержания частиц в вертикальном профиле, которые и используются в качестве входных параметров, то применимость предложенной модели вероятно не ограничивается только территорией Западной Сибири. Основные эмпирические закономерности, предложенные в работе для оценки оптических характеристик, на наш взгляд, вполне могут быть использованы и для других регионов со схожими географическими и погодными условиями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 95-05-14195).

1. Панченко М.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1022–1032.
2. Панченко М.В., Терпугова С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1033–1044.
3. Панченко М.В., Терпугова С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 12. С. 1761–1766.
4. Панченко М.В., Терпугова С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 735–742.
5. Панченко М.В., Терпугова С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 12. С. 1562–1572.
6. Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалагов Ю.А. и др. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок. Новосибирск: Наука, 1988. 201 с.
7. Веретенников В.В., Кабанов М.В., Панченко М.В. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1986. Т. 22. № 10. С. 1042–1049.
8. Розенберг Г.В., Горчаков Г.И., Георгиевский Ю.С., Любовцева Ю.С. // Физика атмосферы и проблема климата. М.: Наука, 1980. С. 216–257.
9. Розенберг Г.В. // УФН. 1968. Т. 95. Вып. 1. С. 159–208.
10. Климат Томска / Под ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Трифионовой, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеониздат, 1982. 176 с.
11. Кабанов М.В., Панченко М.В. Рассеяние оптических волн дисперсными средами. Ч. III. Атмосферный аэрозоль. Томск: Изд. ТФ СО АН СССР, 1984. 189 с.
12. Panchenko M.V., Terpigova S.A., Tumakov A.G. // Atmos. Res. 1996. V. 41. P. 203–215.
13. Козлов В.С., Полькин В.В., Фадеев В.Я. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1982. Т. 18. № 4. С. 428–431.
14. Панченко М.В. // V совещание по распространению лазерного излучения в дисперсной среде: Тез. докл. Обнинск, 1992. С. 28.

Поступила в редакцию  
11 марта 1998 г.

*M.V. Panchenko, S.A. Terpigova, V.V. Polkin. Empirical Model of the Aerosol Optical Characteristics for Low Troposphere of West Siberia.*

This paper sums up a series of publications [1–5] devoted to formation of an empirical model of aerosol optical characteristics for low troposphere in the visible and near IR spectral ranges.

The model provides reconstructing the vertical profile of aerosol scattering coefficient using the following input parameters: ground values of the scattering coefficient for dry base aerosol at 0.52  $\mu\text{m}$  wavelength; relative humidity; mean temperature of the low atmosphere, and the aerosol optical thickness. One-parameter model of the ground aerosol corrected correspondingly over vertical profile  $\sigma(H)$  is proposed as the first approximation in the estimation of the whole set of optical characteristics.