

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510.534

Я.А. Виrolайнен, Ю.М. Тимофеев, А.В. Поляков, Х. Стил*,
К. Дрдла**, М. Ньючерч***

**Моделирование полярных стратосферных облаков:
II. Статистика спектрального коэффициента ослабления
и возможности дистанционного зондирования ПСО**

*Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского
государственного университета, Россия*

** Калифорнийский государственный университет, Нортридж, США*

*** НАСА, США*

**** Алабамский университет, Хантсвилль, США*

Поступила в редакцию 26.07.2004 г.

На основе алгоритмов теории Ми проведены расчеты спектрального коэффициента аэрозольного ослабления (КАО) ПСО для большого числа реализаций (несколько сот тысяч) аэрозольного состояния стратосферы. Построены и проанализированы статистические характеристики КАО (средние значения и ковариационные матрицы). Показано, что для достижения 5%-й точности аппроксимации спектрального хода КАО в области 0,29–1,56 мкм достаточно использовать четыре члена разложения при оптимальной параметризации КАО по базису, состоящему из собственных векторов ковариационной матрицы КАО. Изучены возможности восстановления функции распределения частиц по размерам (ФРР) и ее моментов методом множественной регрессии по известным с погрешностью 5–25% значениям КАО.

Выявлено, что значительное уменьшение относительной априорной неопределенности ФРР при использовании регрессии наблюдается для диапазонов размеров частиц 0,06–2 мкм, при этом для частиц размером 0,5–0,7 мкм априорная неопределенность уменьшается с 400 до 60%. В области размеров частиц около 0,3 мкм наблюдается максимальное уменьшение абсолютной априорной неопределенности концентраций аэрозольных частиц (с 3,5 до 0,35 см⁻³). В области своих максимальных значений (около 0,1 мкм) при 5%-й точности задания КАО абсолютная априорная неопределенность уменьшается в 2 раза (с 7,6 до 3,8 см⁻³), при 25%-й точности КАО – в 1,5 раза (до 5,5 см⁻³). Также продемонстрировано, что из всех моментов ФРР лучше всего по измерениям КАО определяется общая площадь частиц, при этом априорная неопределенность S уменьшается в 4–5,5 раза.

Введение

Оптические методы исследования микроструктуры аэрозолей и облаков широко используются в настоящее время в наземных и спутниковых экспериментах. Спутниковые измерения прозрачности атмосферы в видимой и ближней ИК-областях спектра при восходах и заходах Солнца за горизонт планеты (затменный метод) дают информацию о спектрально-высотном коэффициенте аэрозольного ослабления (КАО) (эксперименты с аппаратурой SAGE-II, SAGE-III, Озон-МИР, РОАМ и др. [1, 10]). Решение обратной задачи следующего уровня позволяет получить из данных о КАО определенную информацию о микроструктуре стратосферного аэрозоля и полупрозрачных облаков [2–4].

В работе [5] на основе использования детальной модели образования и разрушения полярных стратосферных облаков (ПСО) [6, 7] был сгенерирован большой ансамбль реализаций (255 949 случаев) функций распределения частиц по размерам (ФРР) и исследованы статистические свойства ФРР частиц ПСО. В настоящей статье рассмотре-

ны статистические свойства спектрального коэффициента ослабления ПСО, возможности его оптимальной параметризации и регрессионного подхода к решению обратной задачи восстановления ФРР частиц ПСО по измеренным значениям КАО.

1. Коэффициент аэрозольного ослабления ПСО и его оптимальная параметризация

В первом приближении мы предполагали, что все частицы ПСО можно аппроксимировать однородными сферами. Расчет КАО для разных компонентов ПСО (напомним, что в состав рассматриваемых ПСО входят частицы фракций Liquid Aerosol, SAT Aerosol, NAT PSC и Water Ice PSC) и различных сценариев развития ПСО (см. подробнее [5]) для каждой длины волны и смоделированной ФРР был осуществлен на основе известной формулы для полидисперсных аэрозолей по алгоритмам теории Ми:

$$\sigma = N \int_0^{\infty} \pi r^2 Q(r, m) f(r) dr, \quad (1)$$

где $Q(r, m)$ – фактор ослабления аэрозольной частицы радиусом r и комплексным показателем преломления вещества частицы m ; $f(r)$ – ФРП. Показатель преломления для частиц сульфатных растворов (Liquid Aerosol) был взят из работы [8], при этом для трехкомпонентных растворов он рассчитан на основе осредненных значений для двухкомпонентных растворов по программе, описанной в работе [9]. Для других частиц в рассматриваемом УФ-, видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра, независимо от длины волны и температуры, показатели преломления были фиксированы: 1,40 – для частиц фракции SAT Aerosol, 1,43 – для частиц фракции NAT PSC и 1,33 – для частиц фракции Water Ice PSC. Мнимая часть показателя преломления в рассматриваемом спектральном диапазоне для частиц всех фракций полагалась равной нулю. КАО были рассчитаны в 80 каналах спектрального интервала 0,29–1,56 мкм, соответствующих диапазону измерений спутникового прибора SAGE-III [11].

На рис. 1 представлены средние значения и среднеквадратические отклонения (СКО) КАО для четырех рассмотренных ранее в статье [5] ансамблей ПСО.

Из рис. 1 видно, что наибольшие значения КАО наблюдаются для ансамбля IV. В этом же случае максимальны и вариации КАО, что наиболее заметно в области длин волн 0,29–1,03 мкм. В области длин волн 0,3–0,5 мкм среднее значение КАО в сценарии IV немного возрастает, составляя в среднем $0,004 \text{ км}^{-1}$, СКО – возрастает на длинах волн 0,5–0,7 мкм (до значения $0,004 \text{ км}^{-1}$). Далее значение КАО уменьшается до $0,002 \text{ км}^{-1}$ на длине волны 1,03 мкм и до $0,001 \text{ км}^{-1}$ в каналах 1,52–1,56 мкм.

Некоторый аномальный рост КАО, наблюдаемый при увеличении длины волны, связан, по всей видимости, с преобладанием более крупных частиц фракции Liquid Aerosol над мелкими по сравнению с другими ансамблями. Минимальные вариации КАО (около $0,001 \text{ км}^{-1}$, независимо от канала) наблюдаются для ансамбля I. Спектральный ход среднего КАО при этом меняется мало, значения КАО варьируют от $0,002$ в коротковолновых каналах до $0,001 \text{ км}^{-1}$ в длинноволновых.

Аналогичная ситуация, только с несколько большими значениями СКО КАО, наблюдается для ансамбля III. В ансамбле II средние значения КАО меняются от $0,002$ до $0,0004 \text{ км}^{-1}$, таким образом наибольшая спектральная зависимость средних значений и СКО КАО, связанная с видом ФРП (см. [5]), наблюдается для сценариев II и IV.

Следует отметить, что в суммарном ансамбле реализаций (SUM) средние значения и СКО КАО по абсолютным значениям близки к аналогичным значениям из ансамбля II, только спектральный ход в общем случае менее выражен. Спектральное поведение среднего и СКО КАО в ансамбле SUM1, в котором все реализации относятся заведомо к ПСО (по критерию отобранных значений КАО больше 10^{-3} км^{-1}), схоже с аналогичными значениями модели IV.

Для всех рассматриваемых моделей нами были рассчитаны ковариационные матрицы спектральных КАО D_{yy} , их собственные векторы и числа, а также построена оптимальная параметризация КАО по базису, составленному из собственных векторов ковариационных матриц КАО (аналогичная параметризация ФРП проведена в работе [5]).

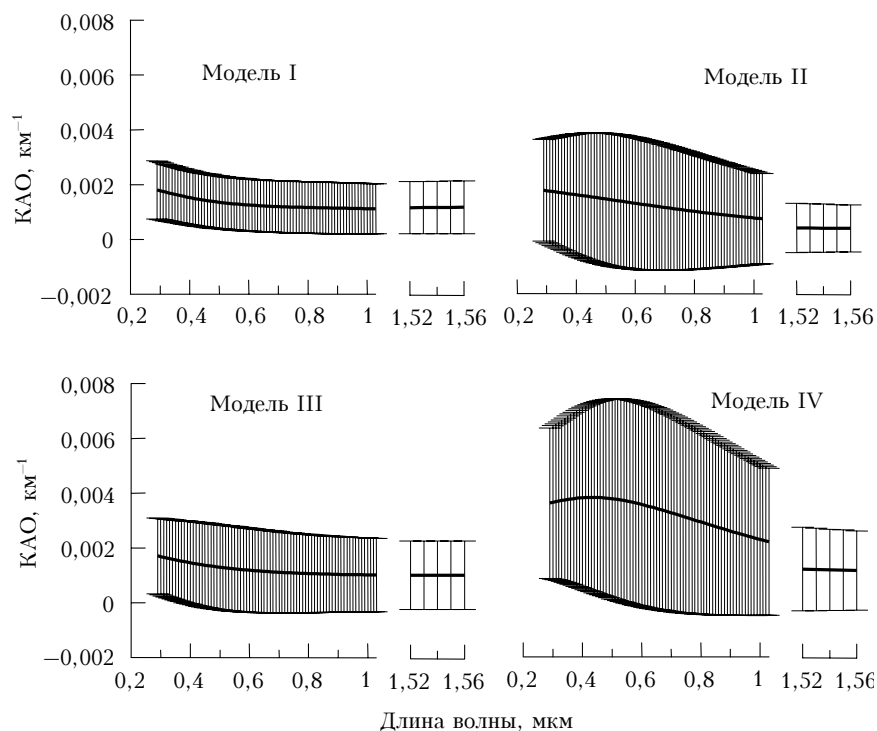


Рис. 1. Средние значения и среднеквадратические отклонения коэффициента аэрозольного ослабления в различных ансамблях реализаций ПСО

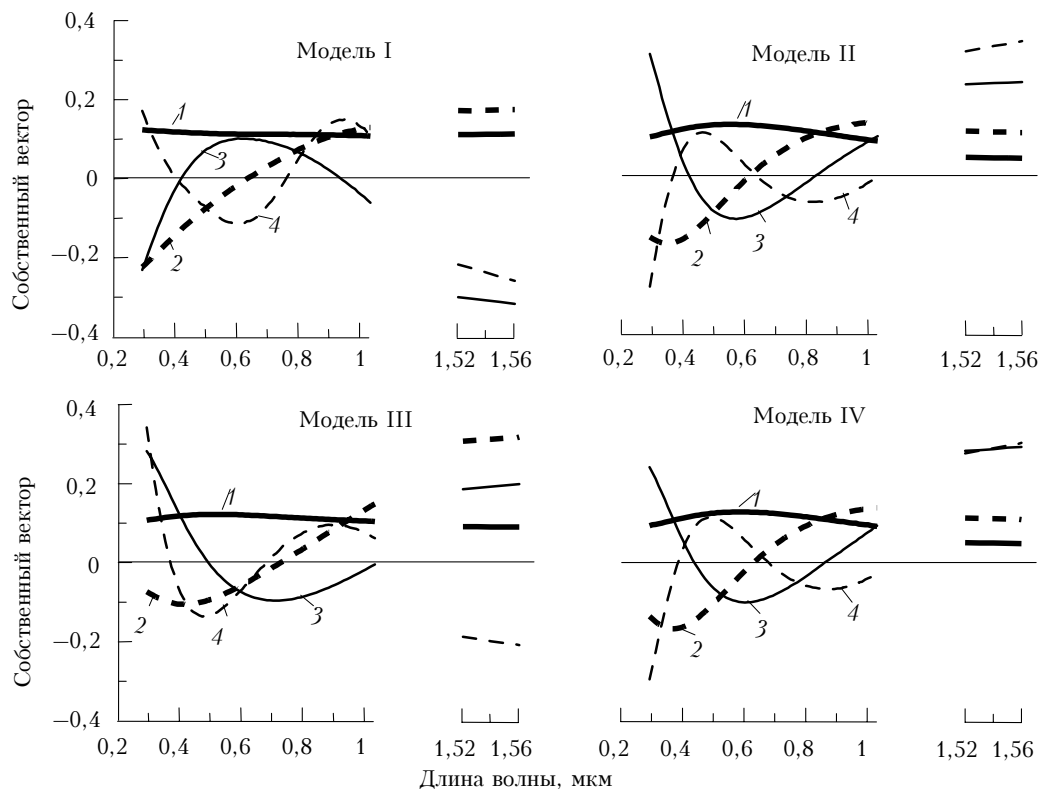


Рис. 2. Собственные векторы (1–4) ковариационной матрицы КАО, рассчитанной по ансамблям ПСО I–IV

Анализ поведения первых четырех собственных векторов для разных ансамблей ПСО, представленных на рис. 2, показал, что первый собственный вектор практически одинаков для всех ансамблей, второй собственный вектор для всех моделей, кроме III, пересекает нулевую линию в области 0,63 мкм (в модели III – в области 0,76 мкм). Третий собственный вектор в модели I находится в противофазе с остальными моделями, поведение четвертого собственного вектора в парах моделей I–III и II–IV схоже. Первые четыре собственных вектора ковариационной матрицы КАО для ансамблей SUM и SUM1 мало отличаются друг от друга.

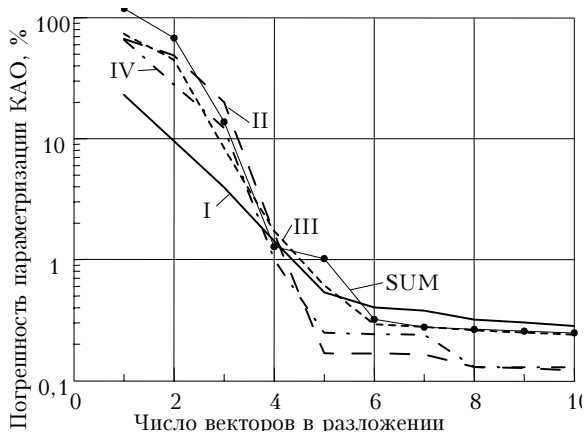


Рис. 3. Относительная погрешность оптимальной параметризации КАО в зависимости от числа учитываемых векторов для различных ансамблей ПСО

Можно также отметить, что собственные векторы единого ансамбля практически полностью совпадают с собственными векторами ансамбля III.

Анализ первых шести собственных чисел ковариационной матрицы КАО для различных моделей показал, что уже второе собственное число примерно на порядок меньше первого для всех моделей. Для моделей II и IV – четвертое, для моделей I, III и суммарной модели – пятое собственное число на два порядка меньше первого.

Необходимо отметить, что, несмотря на имеющиеся отличия в спектральном поведении собственных векторов для разных моделей, достаточно использовать только четыре вектора для достижения точности параметризации в несколько процентов. Рис. 3, отражающий падение относительной среднеквадратической погрешности аппроксимации с ростом числа собственных векторов, используемых при разложении, наглядно демонстрирует это.

Видно, что при добавлении собственных векторов (до 5) погрешность оптимальной параметризации КАО резко убывает. При четырех собственных векторах для всех ансамблей она не превышает 2%. Рис. 3 позволяет также оценить информативность – число независимых параметров, которое можно извлечь из измерений КАО при различной погрешности измерений. Так, при погрешности измерений КАО порядка 10% можно извлечь 2–3 независимых параметра для разных моделей ПСО, при погрешности порядка 1% – 4–5 независимых параметров. Сравнивая оптимальную параметризацию ФРП [5] и КАО, можно отметить, что пара-

метризация ФРП требует при одинаковой заданной точности большего числа собственных векторов, чем параметризация КАО. Это обусловлено слаживающим характером оператора Ми при расчетах КАО для полидисперсного аэрозоля.

Анализ спектрального хода относительной погрешности параметризации КАО для суммарного ансамбля SUM при различном числе учитываемых собственных векторов показал, что при использовании только первых трех векторов погрешность параметризации неравномерна по спектру, меняясь на порядок в зависимости от области спектра. При использовании в параметризации четырех векторов погрешность не превышает 3%, при этом точность параметризации несколько ниже в длинноволновых каналах. В заключение анализа спектрального поведения погрешности оптимальной параметризации КАО подчеркнем, что при использовании первых четырех собственных векторов во всех рассматриваемых случаях погрешность параметризации не превышает 5%. Кроме того, в области 1,52–1,56 мкм наилучшая точность параметризации реализуется для ансамбля I (выше 2%). В коротковолновых каналах (0,29–1,03 мкм) точность параметризации лучше для ансамблей II и IV, хотя при этом она сильно меняется по спектру (0,08–2%).

Нами была также проведена параметризация КАО и оценена ее точность при использовании разнообразных «чужих» векторов как для отдельных моделей, так и для единой выборки. И здесь во всех случаях использование первых четырех векторов давало относительную погрешность параметризации КАО, не превышающую 5%. Таким образом, на основе анализа точности оптимальной параметризации КАО можно сделать вывод о том, что при разложении достаточно использовать четыре первых собственных вектора, соответствующих ковариационной матрице КАО для ансамбля реализаций ПСО SUM, вместо задания КАО в большом числе спектральных каналов.

2. Регрессионный подход к решению обратной задачи по отношению к микрофизическим параметрам ПСО

Рассмотрим на основе проведенного моделирования спектрального КАО ПСО возможности применения регрессионного подхода к определению микрофизических параметров ПСО из измерений КАО. Для его реализации была рассчитана кросс-ковариационная матрица, характеризующая статистические связи между коэффициентами аэрозольного ослабления и микрофизическими параметрами аэрозолей и ПСО. Кросс-ковариационные матрицы КАО и ФРП позволяют связать эти величины с помощью регрессионной формулы

$$x = x_a + D_{xy}(D_{yy} + I\epsilon^2)^{-1}(y - y_a), \quad (2)$$

где x – ФРП (а также ее моменты); y – КАО; D – соответствующие блоки единой кросс-ковариационной матрицы; I – единичная матрица; ϵ – погрешность измерения КАО. Индекс a соответствует среднему по ансамблю значению.

На первом этапе решения регрессионной задачи по определению ФРП и ее моментов мы предположили, что нам известен с определенной точностью (5–25%) КАО (например, из спутниковых измерений SAGE-III). Таким образом, для всех реализаций каждой из моделей ПСО на основе построенных ранее ковариационных матриц D_{yy} и D_{xy} было проведено численное моделирование определения микрофизических параметров (ФРП и ее моментов) из соотношения (2) с учетом погрешности измерения КАО. Эти расчеты были проведены для каждой реализации ПСО, а затем были вычислены среднеквадратические характеристики точности восстановления различных параметров ФРП.

Анализ относительной точности регрессии для моделей ПСО I–IV показал, что наибольшее уменьшение априорной неопределенности для модели I приходится на область размеров частиц 0,06–0,2 и 1–3 мкм, для других моделей – на диапазон 0,1–1 мкм. Также было выявлено, что наиболее информативные в отношении ФРП значения КАО наблюдаются для сценариев II и IV, когда априорная неопределенность ФРП на отдельных интервалах размеров частиц может уменьшаться на порядок (от 100–200 до 10–15%).

Анализ абсолютных погрешностей регрессии показал, что для сценариев развития ПСО II и IV (в отличие от других моделей) наблюдаются два пика априорной неопределенности. Кроме основного (для частиц размером вблизи 0,1 мкм) присутствует также дополнительный максимум изменчивости ФРП – для частиц размером 0,2–0,3 мкм. Для этой же области наблюдается максимальная информативность измерений КАО в отношении ФРП (абсолютная априорная неопределенность уменьшается на порядок). В других моделях такого эффекта не наблюдается. Судя по величине изменчивости числа частиц ($4\text{--}6\text{ см}^{-3}$) – она относится к частицам фракции Liquid Aerosol. В области же основного максимума изменчивости числа частиц для всех моделей наблюдается уменьшение априорной неопределенности в 1,5 (модель III) – 3 (модель I) раза.

В реальных условиях интерпретации измерений КАО мы не знаем, к какой модели принадлежит та или иная реализация ПСО. В связи с этим наиболее интересным с точки зрения практики является случай рассмотрения возможностей решения обратной задачи для суммарного ансамбля ПСО.

Рис. 4 объединяет относительные и абсолютные оценки погрешности восстановления ФРП по измерениям КАО для суммарного ансамбля реализаций ПСО. На рис. 4,а показаны относительная априорная неопределенность и соответствующие погрешности регрессии при известном с 5 и 25%-й точностью КАО, на рис. 4,б – аналогичные абсолютные характеристики.

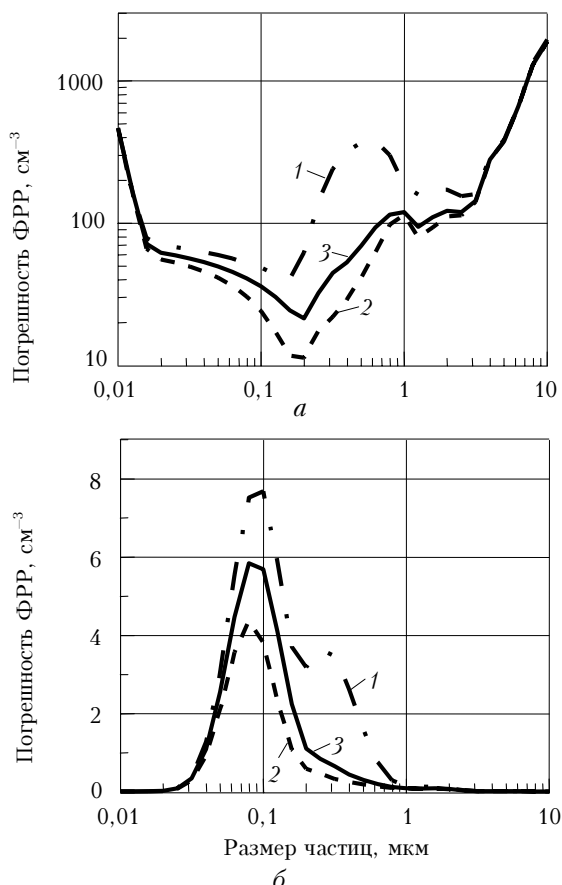


Рис. 4. Относительная (а) и абсолютная (б) погрешность регрессии ФРП, полученная по КАО, измеренному с точностями 5 и 25%, в суммарном ансамбле ПСО SUM; 1 – *a priori*; 2 – 5% КАО; 3 – 25% КАО

Сравнивая результаты, полученные для суммарного ансамбля, с результатами для отдельных ансамблей, можно заметить, что в области мелкодисперсных частиц (меньших 0,2 мкм) на получаемые общие оценки сильнее влияет модель I, в области более крупных частиц – другие модели. В целом же значительное уменьшение относительной априорной неопределенности в знании ФРП наблюдается для диапазонов частиц 0,06–2 мкм, при этом для отдельных размеров частиц это уменьшение достигает почти порядка (с 400 до 60% для частиц размером 0,5–0,7 мкм).

Из рис. 4,б также видно, что кривая, характеризующая абсолютную априорную неопределенность, также имеет некоторый дополнительный

максимум в области размеров частиц около 0,3 мкм. В этом же диапазоне наблюдается и максимальное уменьшение абсолютной априорной неопределенности концентраций аэрозольных частиц (с 3,5 до 0,35 см⁻³).

В области основного максимума кривой неопределенности (0,1 мкм) при 5%-й точности задания КАО абсолютная априорная неопределенность уменьшается в 2 раза (с 7,6 до 3,8 см⁻³), при 25%-й точности КАО – до 5,5 см⁻³. Следует отметить, что для модели SUM1 уменьшение априорной неопределенности ФРП того же порядка, но сами значения априорной неопределенности меньше (почти в два раза).

Представляет также интерес проанализировать, какие интегральные характеристики ФРП (см. [5]) возможно восстанавливать из измерений КАО. В таблице представлены априорная изменчивость и погрешность регрессии для первых трех моментов ФРП (общего числа N , общей площади S и общего объема V всех аэрозольных частиц), которые могут быть получены при 5 и 25%-й точности измерения КАО в 80 каналах спектрального интервала 0,29–1,56 мкм (диапазон измерений спутникового прибора SAGE-III).

Приведенные в таблице результаты относятся к ансамблям ПСО I–IV и суммарному ансамблю SUM. Из таблицы видно, что лучше всего из всех рассмотренных параметров определяется общая площадь частиц S . Априорная изменчивость уменьшается в 3,5–17 раз (с 62–108 до 3,6–21%) при 5%-й точности задания КАО и в 3–7,5 раза (до 11,3–26%) при 25%-й точности КАО. Хуже всего точность восстановления S наблюдается для ансамбля III. Как и в других статистических оценках, модель III оказывает сильное влияние на оценки для суммарного ансамбля реализаций ПСО.

Из таблицы видно, что в наиболее важном для практики случае рассмотрения суммарного ансамбля реализаций аэрозольного состояния априорная неопределенность S уменьшается в 5,5 раза (с 85 до 15%) при 5%-й точности КАО и в 4 раза (до 21%) при 25%-й точности задания КАО. Анализируя точности относительной регрессии для других моментов ФРП, можно отметить, что для общего числа частиц относительная априорная неопределенность уменьшается в среднем в 2 раза при 5%-й точности задания КАО (в суммарном ансамбле – с 38 до 21%).

Погрешности определения σ и априорная изменчивость (%) различных моментов ФРП в ПСО по измеренным КАО с точностью 5 и 25% для разных моделей ПСО

Параметр	$\sigma_{\text{КАО}}, \%$	I	II	III	IV	SUM
N	<i>A priori</i>	38	37	38	28	38
	5	12,7	22,2	20,7	18,2	20,9
	25	21,5	30,7	29,3	24,3	30,1
S	<i>A priori</i>	62	108	73	83	85
	5	3,6	8,5	21,1	6,3	15,4
	25	10,0	14,8	26,1	11,3	21,0
V	<i>A priori</i>	121	260	174	241	174
	5	70	115	128	109	127
	25	72	184	133	158	130

При 25%-й точности задания КАО точность регрессии значительно ниже (в среднем погрешность лишь на 1/3 меньше априорной неопределенности, для суммарного ансамбля погрешность равна 30%).

Лучшие оценки для N наблюдаются для модели I (уменьшение априорной неопределенности в 3 и 2 раза для погрешности КАО 5 и 25% соответственно). Что касается более высоких моментов ФРП аэрозольных частиц, то для суммарного ансамбля наблюдается незначительное уменьшение априорной неопределенности общего объема всех частиц со 174 до 127–130% (в зависимости от погрешности задания КАО).

Можно также отметить, что для V некоторое повышение точности регрессии при повышении точности измерения КАО наблюдается лишь для сценариев развития ПСО II и IV. В других сценариях, как и в суммарной модели, повышение точности КАО уже не приводит к лучшим оценкам регрессии для моментов ФРП. Для ансамбля SUM1 точность регрессии для всех моментов несколько хуже, чем для ансамбля SUM, что связано с несколько меньшими корреляциями между КАО и ФРП и ее моментами за счет исключения реализаций ПСО с меньшими значениями КАО, т.е. за счет уменьшения информативности измерений КАО.

Заключение

На основе алгоритмов теории Ми проведены расчеты спектрального коэффициента аэрозольного ослабления ПСО для большого числа реализаций аэрозольного состояния стратосферы. Проанализированы статистические оптические характеристики КАО. Показано, что для аппроксимации спектрального хода КАО в области 0,29–1,56 мкм (спектральный диапазон спутникового прибора SAGE-III) достаточно использовать четыре члена разложения при оптимальной параметризации КАО. Изучены возможности восстановления ФРП и ее моментов методом множественной регрессии при различной погрешности измерений КАО (5–25%). Показано, что из всех моментов ФРП лучше всего по измерениям КАО определяется общая площадь частиц, при этом априорная неопределенность S уменьшается в 4–5,5 раза. Для общего числа частиц аэрозоля возможно уменьшение априорной неопределенности лишь вдвое, для общего объема

уменьшение априорной неопределенности незначительно.

Работа выполнена при финансовой поддержке администрации Санкт-Петербурга (грант PD03-1.5-114), грантов NASA NAG 5-11248, РФФИ, № 03-05-64626, Университеты России УР.01.01.044.

1. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Васильев А.В. Восстановление вертикальных профилей коэффициентов аэрозольного ослабления в стратосфере по результатам измерений аппаратурой «Озон-МИР» (ДОС «МИР»). Изв. РАН Физ. атмосфер. и океана. 2001. Т. 37. № 2. С. 213–222.
2. Lenoble J., Pruvost P. Inference of the aerosol Angstrom coefficient from SAGE short-wavelength data // J. Climate and Appl. Meteorol. 1983. V. 22. N 10. P. 1717–1725.
3. Thomason L.W. A diagnostic stratospheric aerosol size distribution inferred from SAGE II measurements // J. Geophys. Res. D. 1991. V. 96. N 12. P. 22501–22508.
4. Steele H.M., Turco R.P. Retrieval of aerosol size distributions from satellite extinction spectra using constrained linear inversion // J. Geophys. Res. D. 1997. V. 102. N 14. P. 16737–16747.
5. Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В., Стил Х., Дрдла Е., Ньючерч М. Моделирование полярных стратосферных облаков: I. Микрофизические характеристики // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 3. С. 264–269.
6. Drdla K. Applications of a model of polar stratospheric clouds and heterogeneous chemistry: Ph. D. thesis. UCLA, 1996.
7. Drdla K., Shoeberl M.R., Browell E.V. Microphysical modeling of the 1999–2000 Arctic winter // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108. N 5. P. 8312.
8. Steele H.M., Hamill P. Effects of temperature and humidity on the growth and optical properties of sulphuric acid-water droplets in the stratosphere // J. Aerosol Sci. 1981. N 12. P. 517–528.
9. Luo B., Krieger U.K., Peter T. Densities and refractive indices of H₂SO₄/HNO₃/H₂O solutions to stratospheric temperatures // Geophys. Res. Lett. 1996. V. 23. P. 3707–3710.
10. Yue G.K. Retrieval of aerosol size distributions and integral properties from simulated extinction measurements at SAGE III wavelengths by the linear minimizing error method // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105. N 11. P. 14719–14736.
11. SAGE III ATBD Team, SAGE III Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Transmission Level 1B Products LaRC 475-00-108 version 2.1 26 March 2002 (отчет на сайте www-sage3.larc.nasa.gov). 52 p.

Ya.A. Virolainen, Yu.M. Timofeyev, A.V. Polyakov, H. Steele, K. Drdla, M. Newchurch. **Polar stratospheric clouds modelling: II. Spectral aerosol extinction coefficient and PSC remote sensing possibilities.**

The spectral dependence of aerosol extinction coefficient (AEC) for several hundred of thousands of stratospheric aerosol and PSC realizations has been calculated based on Mie-theory algorithms. The means and covariance matrices for different scenarios of PSC transformation have been constructed. It has been shown that it is possible to use only 4 eigenvectors of AEC covariance matrices for approximation of AEC spectral dependence with 5% accuracy in 0.29–1.56 μm spectral region. The possibilities of retrieval of size distribution function (SDF) and its moment from AEC measurements with 5–25% accuracy have been studied. The regression method makes it possible to decrease essentially the relative *a priori* uncertainty of SDF of combined ensemble for the size range of 0.06–2 μm . This decrease is maximal for the 0.5–0.7 μm particles (from 400 to 60 %). Absolute *a priori* uncertainty of SDF in the size range of about 0.3 μm decreases maximally (from 3.5 to 0.35 cm^3). In the range of the uncertainty curve maximum (0.1 μm), the absolute *a priori* uncertainty decreases from 7.6 to 3.8 cm^3 at the 5 % AEC error, and to 5.5 cm^3 at 25 %. Total cross-section area S is the best-determined value from all SDF moments. For combined ensemble, *a priori* uncertainty of S decreases 4–5.5 times.