

Сезонная изменчивость вертикальных профилей поглощающих характеристик субмикронного аэрозоля в тропосфере

В.С. Козлов, В.П. Шмаргунов, М.В. Панченко*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 13.01.2009 г.

На основе многолетних самолетных измерений коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы частиц на длине волны 0,51 мкм и массовой концентрации сажи в тропосфере до высоты 7 км в южном районе Новосибирской области исследуется сезонная изменчивость высотных профилей концентраций аэрозоля и сажи, относительного содержания сажи в составе частиц, альbedo однократного рассеяния и показателя поглощения вещества частиц. Показано, что нижний (до 1,5 км) и верхний (выше 1,5 км) слои тропосферы кардинально различаются по проявлению поглощающих свойств аэрозоля. В нижнем слое в зимний и осенний сезоны средние значения относительного содержания сажи в частицах уменьшаются с высотой в широких пределах от 13 до 5%. При этом значения альbedo возрастают с высотой, варьируя в диапазоне от 0,80 до 0,94. В нижнем слое зимой аэрозольные частицы обладают сильным поглощением. Величина показателя поглощения принимает наибольшие значения, около 0,09, в приземном слое и уменьшается с ростом высоты до значений 0,03. В верхнем слое значения относительного содержания сажи варьируют слабее, в пределах 2–5%. При этом диапазон высотных и сезонных вариаций альbedo сужается до 0,92–0,97, а значения показателя поглощения изменяются в пределах от 0,03 до 0,01, т.е. аэрозольные частицы в верхнем слое воздуха являются сравнительно слабо поглощающими. Оценки изменчивости радиационно-значимых аэрозольных характеристик свидетельствуют об определенной независимости поведения сажевой компоненты при формировании высотных профилей концентраций аэрозоля и сажи.

Ключевые слова: субмикронный аэрозоль, сажа, тропосфера, высотные профили, относительное содержание сажи, альbedo однократного рассеяния.

Введение

Совершенствование радиационно-климатических моделей для безоблачной атмосферы в значительной степени зависит от корректного моделирования альbedo однократного рассеяния атмосферного аэрозоля. Решение этой проблемы требует проведения детальных исследований характеристик аэрозольного поглощения в тропосфере. Основной поглощающей субстанцией в аэрозоле является сажа. Изучение динамики изменения аэрозольного поглощения под воздействием геофизических факторов становится все более актуальным.

Для исследования радиационно-значимых аэрозольных характеристик атмосферы широко используются различные дистанционные (лазерная локация, солнечная фотометрия и др.) и локальные методы измерений. Важная роль в изучении тропосферы отводится методам самолетного зондирования параметров аэрозольного состава воздуха [1–7].

Размещение измерительной аппаратуры на борту самолета позволяет получать с помощью локальных методов детальную информацию о вертикальных профилях коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения, коэффициенте обратного рассеяния, распределении частиц по размерам, их химическом составе, массовой концентрации сажи в различных географических районах. Однако вследствие трудоемкости измерений количество самолетных исследований тропосферного аэрозоля невелико.

Данные самолетных измерений обычно используются для определения значений альbedo однократного рассеяния аэрозоля, комплексного показателя преломления вещества частиц, для расчетов оптических характеристик аэрозоля и их сопоставления с результатами измерений [3, 5–7]. В некоторых исследованиях результаты самолетного зондирования затем сопоставляются с данными независимых аэрозольных измерений методами солнечной фотометрии и лазерного зондирования, реализуя схемы замкнутого оптического эксперимента.

В настоящей статье на основе самолетных измерений коэффициента рассеяния субмикронного аэрозоля и концентрации сажи рассматривается сезонная

* Валерий Степанович Козлов (vkozlov@iao.ru); Владимир Петрович Шмаргунов (vpsh@iao.ru); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru).

изменчивость вертикальных профилей относительного содержания сажи в частицах, альbedo однократного рассеяния и показателя поглощения частиц в тропосфере. Отметим, что развиваемый нами подход к исследованию свойств субмикронного аэрозоля и соответствующего построения эмпирических моделей заключается в раздельном изучении характеристик «сухой» основы частиц и их параметра конденсационной активности [1, 13, 14], которые определяются процессами разной пространственно-временной изменчивости. В данной статье внимание сосредоточено именно на исследовании поглощающих свойств «сухой» основы субмикронного аэрозоля, а вопросы, связанные с влиянием относительной влажности воздуха, представляют предмет отдельного рассмотрения.

Аппаратура и методы измерений и обработки данных

В 1999–2008 гг. нами на самолете-лаборатории АН-30 «Оптик-Э» выполнялись измерения коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы частиц (нефелометр) и массовой концентрации сажи (аэталометр). Полеты осуществлялись в южном районе Новосибирской области (п. Завьялово).

С этой целью была создана и размещена в самолете установка [3], обеспечивающая измерения характеристик аэрозоля в реальном масштабе времени. Аэрозольные данные, а также информация о метеопараметрах воздуха записывались в память бортового компьютера.

Полеты выполнялись один раз в месяц в дневное время со средней продолжительностью около 3 ч. При анализе результатов основное внимание уделялось данным измерений в горизонтальном полете на высотах 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5,5 и 7 км в фиксированном районе обследования. Полет на каждой из отмеченных высот составлял около 10 мин.

В состав установки входят проточный нефелометр и оптический измеритель массовой концентрации сажи (аэталометр). Аэрозоль поступает в оптические ячейки приборов естественным наддувом через специальный заборник, установленный снаружи самолета, и по герметичным воздуховодам длиной около 5 м в салоне самолета. Забор воздуха осуществляется непрерывно в течение полета и по производительности составляет около 10 л/мин для нефелометра и 5 л/мин для измерителя сажи. Расчетные оценки, учитывающие конкретные параметры воздушных магистралей, показали, что в оптических ячейках приборов практически без искажений измеряются характеристики частиц аэрозоля размерами в среднем менее 1 мкм.

С помощью проточного нефелометра выполняли измерения на длине волны 0,51 мкм коэффициента направленного аэрозольного рассеяния μ (45°) ($\text{км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$) под углом рассеяния 45° . По величине μ (45°) затем определяли значения коэффициента аэрозольного рассеяния σ (км^{-1}). Как известно, коэффициент рассеяния атмосферных дымок тесно свя-

зан с объемной концентрацией субмикронного аэрозоля [8], что при последующей обработке позволяет оценить массовое содержание частиц. Нефелометр регистрирует значения коэффициента направленного аэрозольного рассеяния, начиная с уровня молекулярного рассеяния света, около $0,001 \text{ км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$. Абсолютная калибровка нефелометрических данных выполняется *in situ*, непосредственно в каждом полете, путем периодических измерений на различных высотах характеристик молекулярного рассеяния света чистым воздухом. В этом случае воздушный поток с аэрозолем переключается на канал аэрозольной очистки, содержащий обойму из 3–4 аэрозольных фильтров типа АФА, и затем поступает в нефелометр. Регистрация данных по чистому воздуху (молекулярному рассеянию) для ряда атмосферных давлений (высот) позволяет получить калибровочную характеристику прибора.

Массовая концентрация микрокристаллического углерода (Black Carbon – BC, сажа) в воздухе M_{BC} ($\text{мкг}/\text{м}^3$) регистрируется оптическим измерителем сажи (аэталометр). Прибор реализует метод измерения диффузного ослабления света слоем аэрозольных частиц непосредственно в процессе их осаждения из воздушного потока на аэрозольный фильтр аналогично [9]. Спектральный оптический диапазон прибора 0,4–1,1 мкм, с максимумом около 0,9 мкм. В качестве источника излучения используется галогенная кварцевая лампа мощностью 100 Вт, излучение которой по световоду поступает в прибор. При прокачке через прибор 30 л воздуха концентрационная чувствительность измерителя сажи составляет около $0,01 \text{ мкг}/\text{м}^3$.

Абсолютная калибровка прибора выполнялась в лабораторных условиях с помощью пиролизного генератора сажевых частиц и сопоставления данных синхронных оптических и гравиметрических измерений [10]. Сажевые частицы размерами в диапазоне 50–200 нм образовывались при пиролизе паров бутанола в атмосфере азота при температуре 1150°C .

Измерения коэффициента аэрозольного рассеяния σ и массовой концентрации сажи M_{BC} использовались для приближенных оценок высотных профилей относительного содержания сажи в частицах и альbedo однократного рассеяния ω :

$$\omega = \sigma / (\sigma + \alpha). \quad (1)$$

В (1) коэффициент аэрозольного поглощения α (км^{-1}) вычисляется на основе измерений концентрации сажи ($\text{мкг}/\text{м}^3$):

$$\alpha = \alpha_m \cdot 10^3 M_{\text{BC}}, \quad (2)$$

где для фактора эффективности аэрозольного поглощения α_m при расчетах использовано значение $\alpha_m = 5,49 \text{ м}^2/\text{г}$ (на длине волны 0,53 мкм), полученное нами при синхронных измерениях в приземном слое коэффициента аэрозольного поглощения (оптико-акустический спектрометр) и концентрации сажи (аэталометр) [11]. При определении относительного содержания сажи в частицах $P = M_{\text{BC}}/M_a$ массовая концентрация аэрозоля M_a ($\text{мкг}/\text{м}^3$) рас-

считывалась по данным измерений σ (км^{-1}) на основе однопараметрической модели атмосферного аэрозоля [8]:

$$M_a = 2,2\rho \cdot 10^2\sigma, \quad (3)$$

где для плотности вещества частиц принято значение $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$.

Выражения (1)–(3) позволяют выполнить лишь приближенные оценки высотных профилей ω и P , поскольку задаваемые в (2), (3) значения для α_m и ρ являются модельными приближениями, что может стать источником методических погрешностей. Оценки показывают, что при средних погрешностях измерения σ и M_{BC} около 20% погрешность определения альбеда варьирует в пределах 1–3% (для значений $\omega > 0,90$), возрастая до $d\omega/\omega \approx 8,5\%$ при уменьшении ω от 0,90 до 0,70.

Результаты самолетных измерений

Данные самолетных измерений позволили исследовать динамику и пределы вариаций аэрозольных характеристик в тропосфере. Анализ показал, что основные особенности высотных профилей содержания аэрозоля и сажи, альбеда однократного рассеяния и относительного содержания сажи обладают хорошо выраженным сезонным ходом и определенной межгодовой устойчивостью. Это проявляется, прежде всего, в синхронности вариаций концентраций аэрозоля и сажи и в устойчивых особенностях сезонной трансформации высотных профилей.

На рис. 1, 2 представлены типичные высотные профили аэрозольных характеристик для различных месяцев года. Как видно, полные пределы изменения массовых концентраций с ростом высоты составляют в среднем от 5 до $0,02 \text{ мкг/м}^3$ для сажи, от 50 до $0,6 \text{ мкг/м}^3$ для аэрозоля, т.е. вариации могут превышать два порядка величины. На фоне монотонного убывания с высотой достаточно часто наблюдаются на различных высотах локальные максимумы концентраций (рис. 1).

Наиболее вероятными причинами появления максимумов может быть влияние таких факторов, как температурные инверсии, высотное распределение облачных слоев, дымы лесных пожаров и др.

Важной особенностью большинства выполненных измерений является близость формы профилей содержания аэрозоля и сажи (см. рис. 1). Форма высотных ходов концентрации сажи, как и содержания аэрозоля, характеризуется значительной сезонной динамикой, тесно связанной с температурной стратификацией пограничного слоя тропосферы (см. рис. 1, 2). Температурные инверсии в диапазоне высот 0,5–1,5 км (рис. 1, а), характерные для Сибирского региона в холодный период года, приводят к наиболее выраженной динамике высотного хода концентрации сажи.

Наибольший градиент изменения концентрации наблюдается в подынверсионном слое – от 3–5 до $0,1 \text{ мкг/м}^3$ (рис. 1, а, кривая 1). Выше слоя инверсии с ростом высоты происходит дальнейшее уменьшение

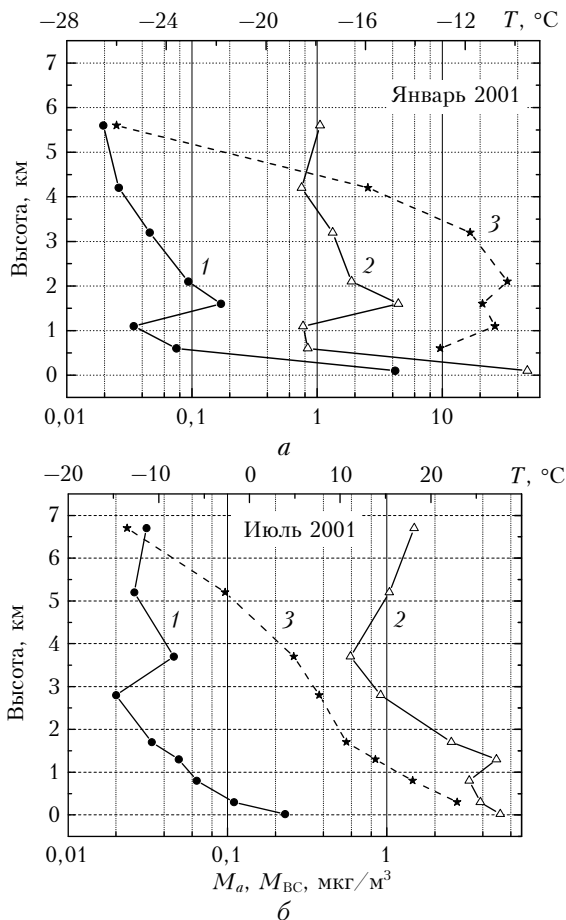


Рис. 1. Высотные профили массовых концентраций сажи (1) и субмикронного аэрозоля (2), температуры воздуха (3) в различные месяцы 2001 г.

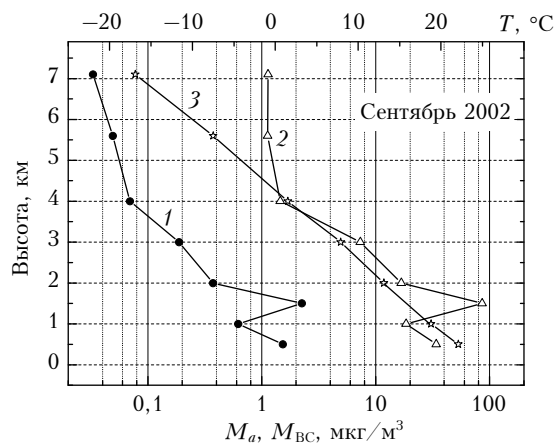


Рис. 2. Влияние дымов лесных пожаров на высотные профили массовой концентрации сажи (1) и аэрозоля (2) в сентябре 2002 г. Кривая 3 – температура воздуха

M_{BC} до $0,02 \text{ мкг/м}^3$. В теплый период года редкость температурных инверсий в дневное время (рис. 1, б) в сочетании с сезонным снижением интенсивности источников сажи приводит к уменьшению ее концентрации в приземном слое. Вследствие этого диапазон вариаций сужается и динамика высотного хода становится более плавной (рис. 1, б, кривая 1).

В теплый период года нами также наблюдались профили с повышенными концентрациями сажи и аэрозоля, вызванными дымами лесных пожаров и палов растительности (см. рис. 2). Как видно из рис. 2, дымовой аэрозоль привел к резкому росту концентраций аэрозоля и сажи на высотах до 3 км и к формированию максимумов на высоте 1,5 км.

По результатам самолетных измерений в 1999–2008 гг. были выполнены расчеты средних сезонных профилей коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы субмикронного аэрозоля и массовой концентрации сажи. Рис. 3 иллюстрирует средние профили абсолютных значений коэффициента аэрозольного рассеяния (рис. 3, а) и профили коэффициента рассеяния, нормированные к его значению на высоте $H = 0$ км (рис. 3, б).

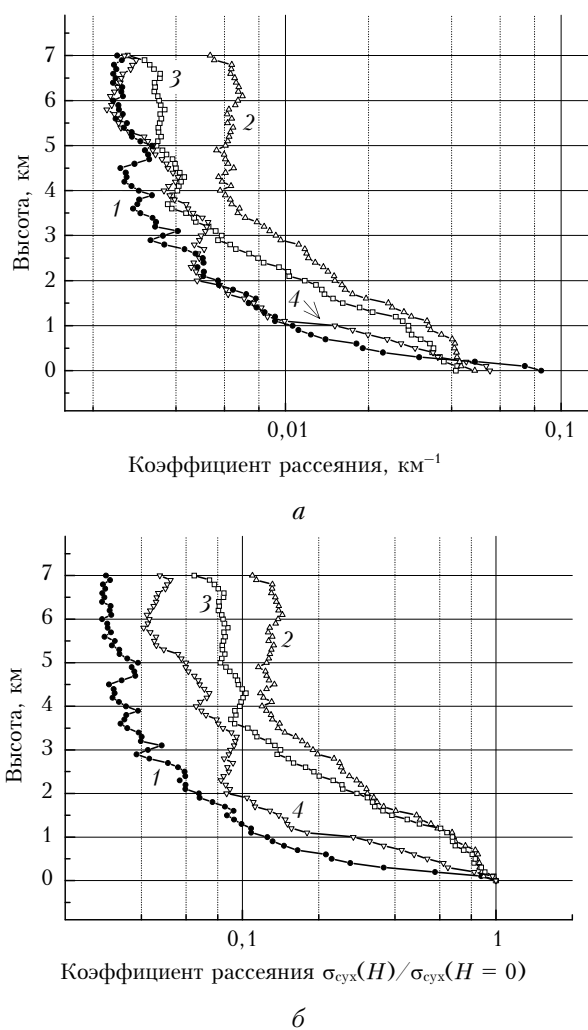


Рис. 3. Сезонные высотные профили среднегеометрических (а) и нормированных (б) значений коэффициента аэрозольного рассеяния (п. Завьялово, 2000–2008 гг.): 1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

В зимний период в приземном слое воздуха на высотах менее 0,5 км наблюдаются наибольшие значения коэффициента аэрозольного рассеяния (кривая 1). Осенний профиль абсолютного содержания аэрозоля (кривая 4) близок к зимнему. В весенний

период наблюдается повышенное содержание аэрозоля в диапазоне высот 1–5 км (кривая 2). Аналогичное повышение коэффициентов рассеяния на этих высотах в весенний период было объяснено в [1] влиянием дальнего западного переноса воздушных масс. Из рассмотрения нормированных сезонных профилей (рис. 3, б) видно, что летний и осенний профили располагаются между весенним и зимним профилями коэффициента аэрозольного рассеяния.

Рассматриваемые высотные профили коэффициента аэрозольного рассеяния, полученные в период 1999–2008 гг., хорошо согласуются с эмпирической моделью оптических характеристик, созданной на серьезной статистической основе по данным самолетных измерений в Западно-Сибирском регионе в период 1985–1988 гг. [1, 14]. Этот факт дает основания полагать, что и анализируемые данные по поглощающим свойствам аэрозоля вполне адекватно описывают его характеристики в исследуемом регионе.

Сезонная изменчивость вертикальных профилей массовой концентрации сажи (рис. 4) характеризуется теми же особенностями, что были отмечены выше для профилей коэффициента аэрозольного рассеяния. Следует отметить, что весенний высотный профиль также обнаруживает повышенный уровень концентраций сажи на высотах 1–5 км.

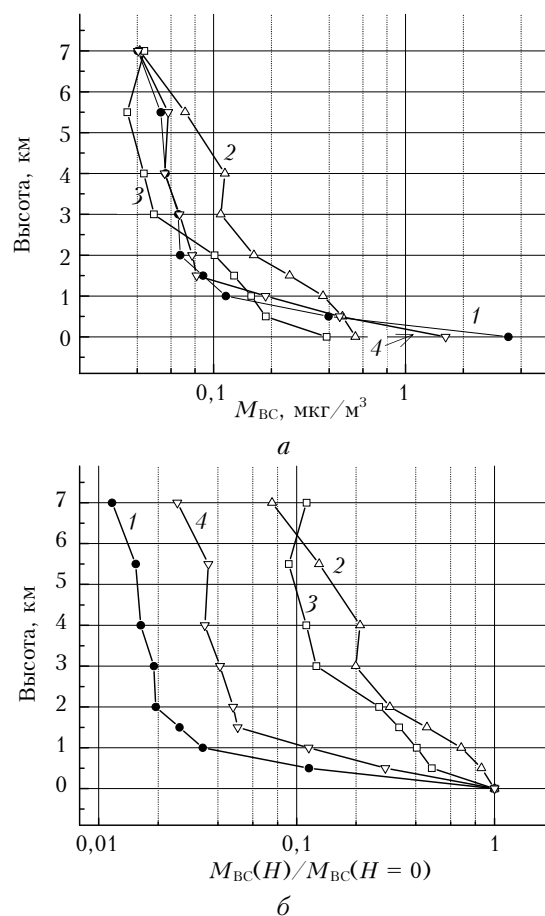


Рис. 4. Сезонные высотные профили среднегеометрических (а) и нормированных (б) значений массовой концентрации сажи (п. Завьялово, 2000–2008 гг.): 1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

На рис. 5 для этих же сезонов приведены средние высотные профили массовых концентраций аэрозоля и сажи. Сопоставление показывает, что высотные профили концентраций аэрозоля и сажи в общем хорошо согласуются между собой по форме. Наиболее полное согласие профилей по всему диапазону высот наблюдается для весеннего (рис. 5, б) и летнего (рис. 5, г) сезонов.

По данным измерений коэффициента аэрозольного рассеяния и массовой концентрации сажи были рассчитаны средние сезонные профили относительного содержания сажи в частицах P и альbedo однократного рассеяния ω (на длине волны 0,53 мкм).

Величина относительного содержания сажи P позволяет более наглядно рассмотреть определенные различия в изменении исследуемых характеристик с высотой. Очевидно, что если бы скорости убывания массы аэрозоля и сажи с высотой были одинаковыми, то и величина относительного содержания сажи в частицах оставалась бы постоянной.

На рис. 6 приведены средние сезонные профили относительного содержания сажи для четырех сезонов года.

Видно, что в высотном ходе относительного содержания сажи прослеживаются два слоя, в которых

изменчивость P характеризуется качественно различными особенностями. В нижнем слое (до 1,5 км) средние значения относительного содержания сажи варьируют в наибольших пределах зимой и осенью, уменьшаясь с ростом высоты от 13 до 4%. В верхнем слое (выше 1,5 км) во все сезоны года диапазон изменения P невелик – от 5 до 2%. В весенний и летний сезоны пределы изменения относительного содержания сажи в частицах во всем диапазоне высот существенно сужаются (до 2–6%) и, как следствие, значения P в нижнем и верхнем слоях воздуха становятся близкими. Однако при этом сохраняется тенденция уменьшения P с ростом высоты в нижнем 1,5-километровом слое воздуха. Интересно отметить, что уровень повышенной замутненности воздуха в весенний период на высотах около 4 км отчетливо проявляется не только в абсолютных значениях коэффициента рассеяния и концентрации сажи, но и в относительном содержании сажи (параметр P). Несмотря на невысокую точность наших оценок, отметим, что приведенные выше особенности высотного хода параметра P можно рассматривать как признак определенной независимости поведения сажи и аэрозоля при формировании высотной стратификации. Этот факт может выступать

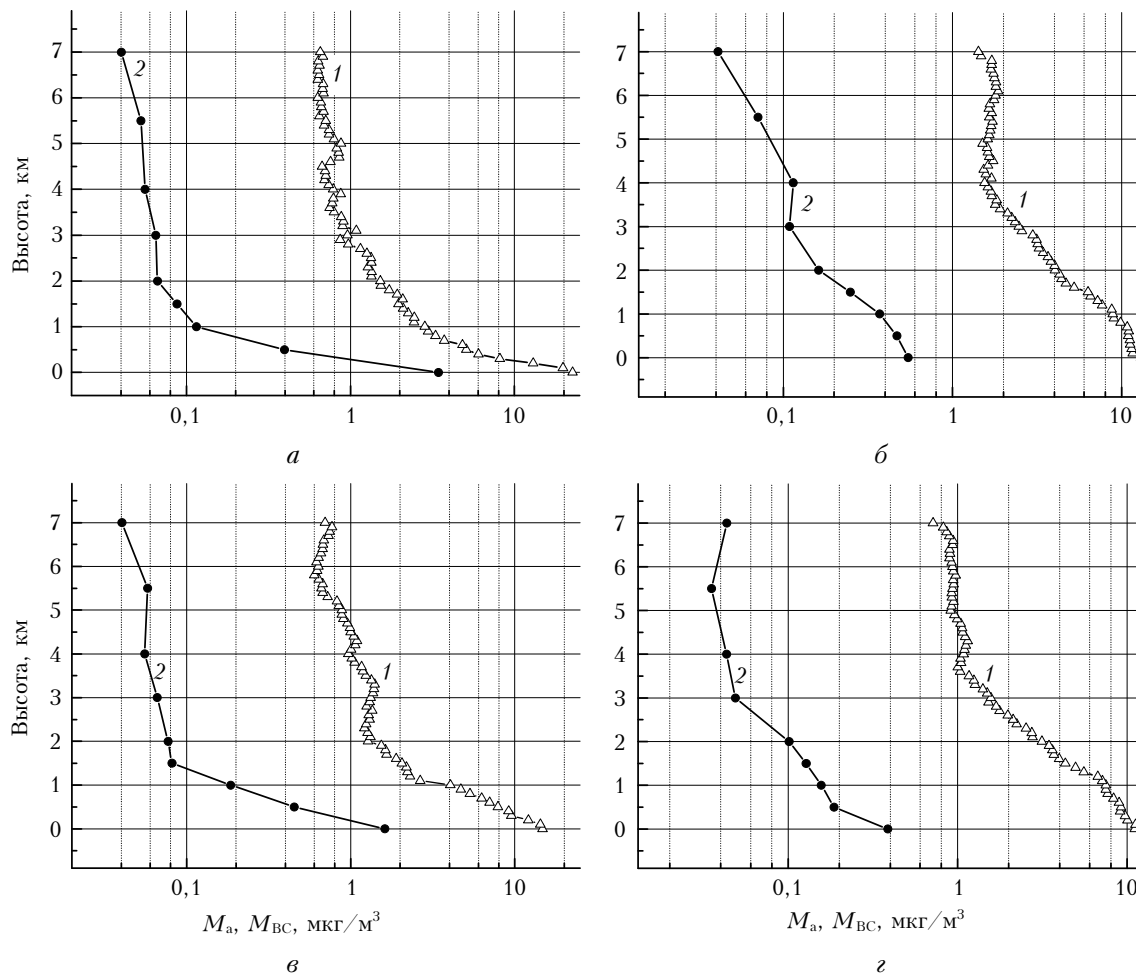


Рис. 5. Средние профили среднегеометрических значений массовых концентраций аэрозоля и сажи в различные сезоны года (п. Завьялово, 2000–2008 гг.): а – зима; б – весна; в – осень; г – лето (1 – аэрозоль, 2 – сажа)

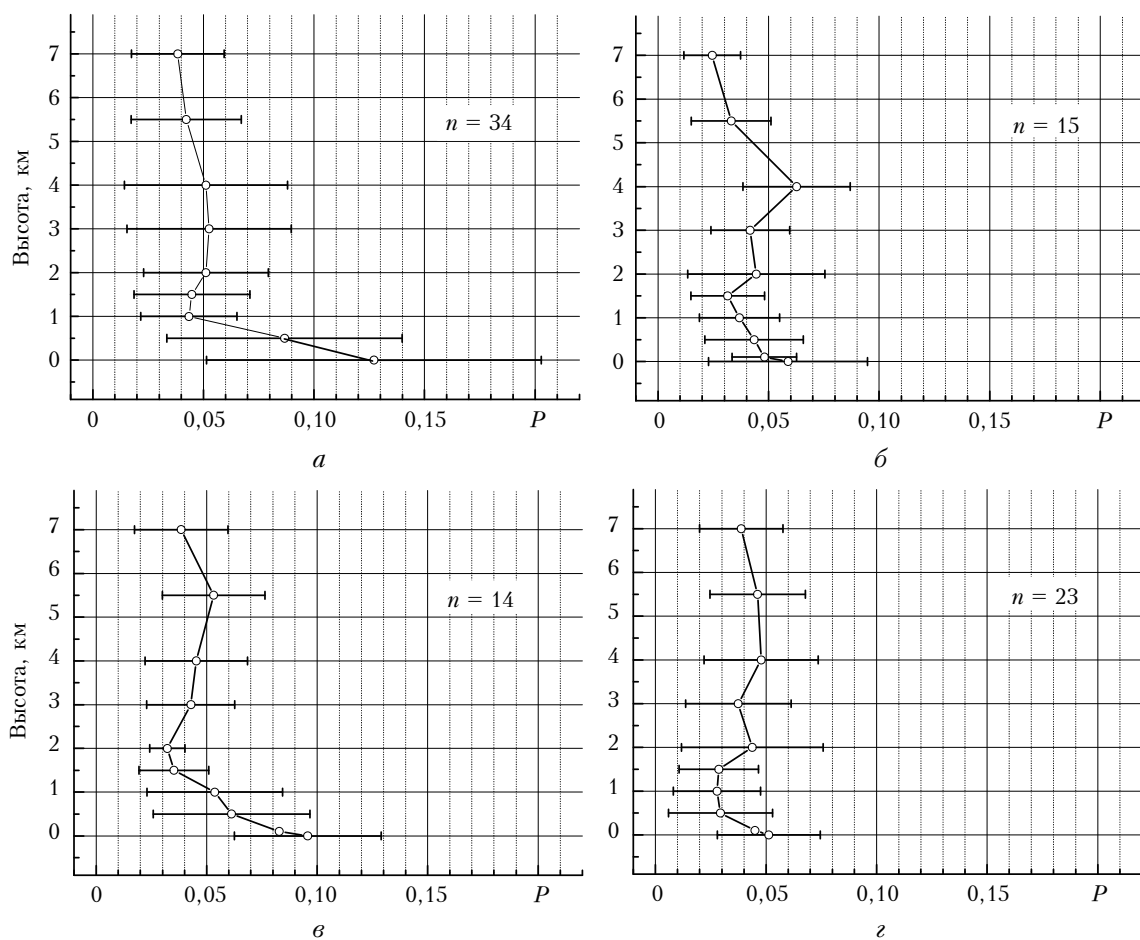


Рис. 6. Среднесезонные высотные профили относительного содержания сажи в субмикронном аэрозоле P по данным 2000–2008 гг.: a – зима; b – весна; v – осень; z – лето; n – количество измерений

в пользу вывода о присутствии сажи в аэрозоле в качестве внешней смеси.

Прежде чем приступить к описанию оценок значений альbedo однократного рассеяния и показателя поглощения сухой основы частиц χ , отметим, что все расчеты проведены только для массовой концентрации «сухого» аэрозоля, т.е. для состояния частиц при весьма низких значениях относительной влажности воздуха (около 10–20%).

На рис. 7 приведены высотные профили альbedo сухой основы аэрозольных частиц для различных сезонов года. Как видим, для всех сезонов года с ростом высоты значения ω в нижнем слое увеличиваются, что обусловлено соответствующим уменьшением относительного содержания поглощающего вещества. Наибольшая динамика альbedo наблюдается осенью и зимой (кривые 1, 4). Зимой ω изменяется от 0,80 до 0,95. Наибольшие вариации ω соответствуют высотам до 1,5 км (увеличение ω до 0,93). С ростом высоты скорость изменчивости альbedo уменьшается. Для теплого периода года диапазон вариаций альbedo сужается до значений 0,92–0,96. В основном сезонные различия альbedo однократного рассеяния проявляются в нижнем слое тропосферы в диапазоне высот до 1,5 км. На высотах более 1,5 км форма высотного хода ω и пределы

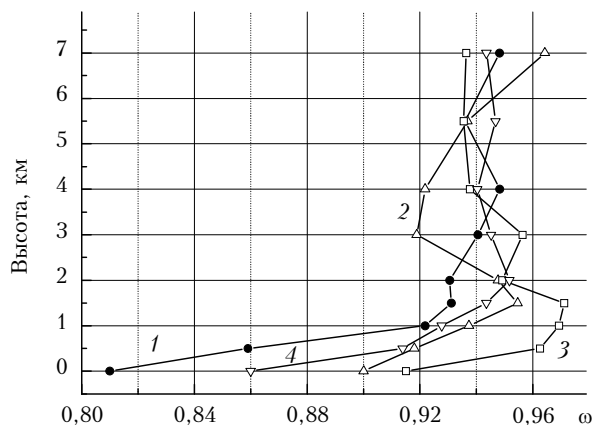


Рис. 7. Средние сезонные высотные профили альbedo однократного рассеяния ω (на длине волны 0,53 мкм): 1 – зима; 2 – весна; 3 – лето; 4 – осень

его характерных изменений слабо зависят от сезона года. Напомним, что все оценки альbedo приведены для «сухой» основы субмикронного аэрозоля. Если же учесть, что в реальной атмосфере в составе частиц вода занимает более половины их объема [13], то очевидно, что нижний предел значения альbedo с 0,8 смещается до значений больше 0,9.

Располагая данными об относительном содержании сажи в составе «сухой» основы аэрозоля (параметр P), мы провели расчеты вертикальных профилей показателя поглощения. Оценки показателя поглощения выполнялись на основе правила объемной смеси. В этом случае значения показателя поглощения определялись по формуле

$$\chi = \chi_{\text{вс}} P, \quad (4)$$

где для показателя поглощения сажи использовались литературные данные $\chi_{\text{вс}} = 0,74$ [12].

Естественно, что высотные профили показателя поглощения частиц фактически отражают основные особенности изменчивости вертикальных профилей относительного содержания сажи в частицах, что иллюстрирует рис. 8.

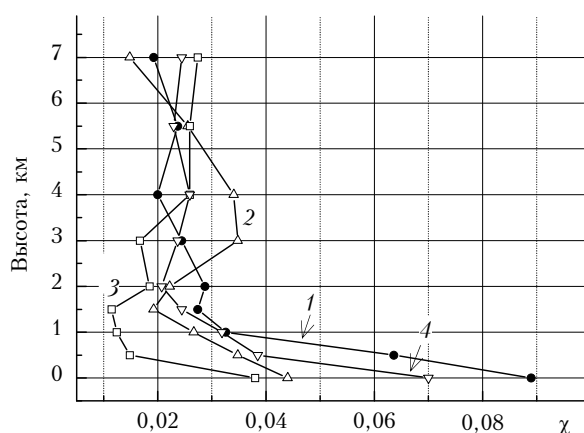


Рис. 8. Средние сезонные высотные профили показателя поглощения χ сухой основы частиц: 1 — зима; 2 — весна; 3 — лето; 4 — осень

Как видно, показатель поглощения частиц в нижнем слое уменьшается с ростом высоты. В целом показатель поглощения варьирует в достаточно широких пределах — от 0,01 до 0,09. Наибольший градиент уменьшения χ наблюдается в зимний сезон года, когда в нижнем слое воздуха на высотах до 1,5 км аэрозоль является наиболее поглощающим — с показателем поглощения частиц 0,02–0,09. На высотах более 1,5 км для всех сезонов «сухие» частицы обладают сравнительно слабым поглощением — $\chi \leq 0,02$. В теплый период динамика изменений χ снижается и диапазон вариаций сужается до 0,02–0,04.

Заключение

Выполнены многолетние самолетные измерения коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы частиц на длине волны 0,51 мкм и массовой концентрации сажи в тропосфере до высоты 7 км в южном районе Новосибирской области. Высотные профили аэрозоля и сажи характеризуются значительным уменьшением концентраций с ростом высоты (до двух порядков величины). Формы профилей аэрозоля и сажи близки между собой. На них в ряде случаев проявляются локальные экстремумы на определенных высотах, обусловленные влиянием тем-

пературных инверсий, облачности и дымов лесных пожаров. Сезонная изменчивость высотных профилей тесно связана с изменениями температурной стратификации тропосферы.

Нижний (до 1,5 км) и верхний (выше 1,5 км) слои тропосферы заметно различаются по проявлению поглощающих свойств аэрозоля. В нижнем слое в зимний и осенний сезоны наблюдается значительное различие градиентов уменьшения концентраций аэрозоля и сажи с ростом высоты. Концентрация сажи с высотой уменьшается сильнее, чем содержание аэрозоля. Однако в верхнем слое воздуха изменения концентраций с высотой близки между собой во все сезоны года. Различия градиентов изменения приводят к тому, что средние значения относительного содержания сажи в частицах в холодный период года уменьшаются с высотой в нижнем слое в широких пределах от 13 до 5%. В верхнем слое значения относительного содержания сажи варьируют существенно слабее, пределы их изменения сужаются до 2–5%.

Динамика альbedo однократного рассеяния сухой основы аэрозоля отражает основные особенности изменчивости относительного содержания сажи с высотой. Значения альbedo наиболее сильно возрастают с высотой в нижнем слое в зимний и осенний сезоны, варьируя в диапазоне от 0,80 до 0,94. В верхнем слое пределы высотных и сезонных вариаций альbedo сужаются до значений 0,92–0,97. В нижнем слое зимой аэрозольные частицы обладают заметным поглощением. Величина показателя поглощения принимает наибольшие значения (около 0,09) в приземном слое и уменьшается до 0,03 с ростом высоты до 1,5 км. При дальнейшем увеличении высоты значения показателя поглощения изменяются в пределах от 0,03 до 0,01.

Проведенные оценки свидетельствуют об определенной независимости поведения сажевой компоненты при формировании высотных профилей концентраций аэрозоля и сажи. Это позволяет предположить, что, по крайней мере, определенное количество сажи присутствует в составе аэрозоля в качестве внешней смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64393).

1. Панченко М.В., Терпугова С.А. Годовой ход содержания субмикронного аэрозоля в тропосфере Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1033–1044.
2. Panchenko M.V., Kozlov V.S., Terpigova S.A., Shmarginov V.P., Burkov V.V. 2000: Simultaneous measurements of submicron aerosol and absorbing substance in the height range up to 7 km // Proc. of Tenth ARM Science Team Meeting. San-Antonio, Texas, 13–19 March 2000, 4 p. http://www.arm.gov/docs/documents/technical/conf_0003/panchenko-mv.pdf
3. Kozlov V.S., Panchenko M.V. Airborne measurements of the aerosol and soot contents in the troposphere (estimation of the single scattering albedo profiles) // Proc. of the 6th Int. Sympos. on Tropospheric Profiling: Needs and Technologies. Leipzig, Saxony. September 14–20, 2003. P. 321–323.
4. Максимюк В.С., Татьяна С.В. Анализ количественных данных показателя аэрозольного ослабления тропосферы

- и стратосферы в подспутниковом эксперименте // Оптика атмосф. 1989. Т. 2. № 8. С. 891–893.
5. Han Z., Montague D.C., Snider J.R. Airborne measurements of aerosol extinction in the lower and middle troposphere over Wyoming, USA // Atmos. Environ. 2003. V. 37. N 6. P. 789–802.
 6. Collins D.R., Jonsson H.H., Liao H., Flagan R.C., Seinfeld J.H., Noone K.J., Hering S.V. Airborne analysis of the Los Angeles aerosol // Atmos. Environ. 2000. V. 34. N 24. P. 4155–4173.
 7. Öström E., Noone K.J. Vertical profiles of aerosol scattering and absorption measured in situ during the North Atlantic Aerosol Characterization Experiment (ACE-2) // Tellus. 2000. V. 52b. N 2. P. 526–545.
 8. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1981. Т. 17. № 1. С. 39–49.
 9. Hansen A.D.A., Rosen H., Novakov T. The aethalometer – an instrument for the real time measurement of optical absorption by aerosol particles // Sci. Total Environ. 1984. V. 36. N 1. P. 191–196.
 10. Baklanov A.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Anki-
lov A.N., Vlasenko A.L. Generation of soot particles in
submicron range // J. Aerosol Sci. 1998. V. 29. Suppl. 1.
P. 919–920.
 11. Tikhomirov A.B., Firsov K.M., Kozlov V.S., Pan-
chenko M.V., Ponomarev Y.N., Tikhomirov B.A. In-
vestigation of spectral dependence of shortwave radia-
tion absorption by ambient aerosol using time-resolved
photoacoustic technique // Opt. Eng. 2005. V. 44.
N 7. P. 071203. 11 с.
 12. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосфе-
ры. Современные проблемы атмосферной оптики. Т. 2.
Л.: Гидрометеониздат, 1986. 256 с.
 13. Панченко М.В., Терпугова С.А., Козлов В.С., Поль-
кин В.В., Яушева Е.П. Годовой ход конденсационной
активности субмикронного аэрозоля в приземном слое
атмосферы Западной Сибири // Оптика атмосф. и
океана. 2005. Т. 18. № 8. С. 678–683.
 14. Панченко М.В., Терпугова С.А., Полькин В.В. Эмпи-
рическая модель оптических характеристик аэрозоля
нижней тропосферы Западной Сибири // Оптика ат-
мосф. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 615–624.

V.S. Kozlov, V.P. Shmargunov, M.V. Panchenko. Seasonal variability of the vertical profiles of absorption parameters of submicron aerosol in the troposphere.

Seasonal variability of the vertical profiles of concentrations of aerosol and soot, soot fraction, single scattering albedo, and absorption index of particulate matter are studied based on long-term airborne measurements of the scattering coefficient of dry matter of aerosol particles at a wavelength of 0.51 μm and the mass concentration of soot in the troposphere up to a height of 7 km in southern part of Novosibirsk region. It is shown that the lower (up to 1.5 km) and upper (above 1.5 km) layers of the troposphere are extremely different in absorption properties of aerosol. In the lower layer, in winter and autumn, mean values of the soot fraction decrease with height in wide range from 13 to 5%. The values of albedo increase with height, varying in the range from 0.8 to 0.94. In the lower layer, in winter, aerosol particles have strong absorption. The value of the absorption index has the greatest values, about 0.09, in the near-ground layer, and decreases with height to values of 0.03. In the upper layer, the values of the soot fraction vary weaker, in the range 2–5%. The range of seasonal and altitudinal variations of the albedo becomes narrower (0.92–0.97), and the values of the absorption index vary in the range from 0.03 to 0.01, i.e., aerosol particles in the upper air layer are comparatively weakly absorbing. Estimates of variability of the aerosol radiative parameters evidence a certain independence of the behavior of the soot component at formation of the vertical profiles of the aerosol and soot concentrations.