

УДК 551.521.3

Многолетняя изменчивость конденсационной активности аэрозоля в г. Томске

М.В. Панченко, С.А. Терпугова, Т.А. Докукина, В.В. Польшкин, Е.П. Яшуева*

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

Поступила в редакцию 20.10.2011 г.

Рассматриваются результаты 13-летних исследований (1998–2010 гг.) конденсационной активности аэрозоля в г. Томске. В долговременном ходе параметра конденсационной активности наряду с годичным циклом и его второй гармоникой прослеживается тенденция более медленных колебаний примерно 6–7 лет. Максимальные значения наблюдались в 1998–1999 и 2005–2007 гг. Минимальные среднегодовые значения отмечены в 2003 и 2008 гг., т.е. в годы, когда наиболее часто наблюдались вторжения субтропических воздушных масс из аридных районов Казахстана и Средней Азии.

Ключевые слова: аэрозоль, конденсационная активность, микроструктура, многолетняя изменчивость; aerosol, condensation activity, microstructure, long-term variability.

Введение

Состояние аэрозоля в атмосфере определяется взаимодействием и конкуренцией различных физико-химических процессов и метеоролого-синоптических факторов. Одним из основных механизмов, модифицирующих оптические характеристики аэрозоля, являются ассимиляция и диссимиляция влаги в поле переменной относительной влажности воздуха. При этом меняются рассеивающие и поглощающие свойства аэрозоля, определяющие его климатическое воздействие [1]. Для корректного учета аэрозоля в радиационных моделях на различных временных интервалах и в разных климатических зонах требуется знание сезонных и региональных особенностей и закономерностей его конденсационной активности.

Для исследования этого механизма нами применяется подход, основанный на раздельном изучении оптических характеристик сухой основы частиц и их изменения в процессе увлажнения [2].

В настоящей статье анализируются результаты более чем 12-летних наблюдений конденсационной активности аэрозоля в приземном слое атмосферы в г. Томске (56°28' с.ш., 85°05' в.д.).

Эксперимент

Наблюдения проводятся на Аэрозольной станции Института оптики атмосферы в Академгородке, на юго-восточной окраине города, на расстоянии около 6 км от его центра [3]. Измерения начаты в марте

1998 г. и продолжают по настоящее время. Как правило, измерения осуществляются 1 раз в сутки, и несколько раз в год реализуются интенсивные измерительные циклы (4–5 раз в сутки).

Экспериментальная установка включает в себя нефелометр, оснащенный устройством для искусственного увлажнения исследуемого аэрозоля в диапазоне относительной влажности от 30–40 до 90% [2]. Эта установка является частью Аэрозольной станции (<http://aerosol1.iao.ru>), работающей в автоматическом режиме. В ходе измерений параметра конденсационной активности второй идентичный нефелометр, аэталометр (измеритель концентрации сажи), фотоэлектрический счетчик частиц и метеоконкомплекс аэрозольной станции позволяют контролировать стабильность атмосферной ситуации.

Основной измеряемый параметр в эксперименте — коэффициент направленного рассеяния под углом 45° на длине волны 0,51 мкм как функция относительной влажности воздуха. Полученные зависимости аппроксимировались формулой Кастена–Хенела

$$\mu = \mu_0(1 - RH)^{-\gamma},$$

где μ_0 — коэффициент направленного светорассеяния, обусловленный сухой основой аэрозольных частиц; RH — относительная влажность воздуха; γ — параметр конденсационной активности, который и определяет динамику оптической характеристики как функции влажности. Необходимо подчеркнуть следующий важный момент: схема организации непрерывной прокачки атмосферного аэрозоля через нефелометр, малость его оптического рассеивающего объема, а также рабочая длина волны (0,51 мкм) и угол рассеяния (45°) заведомо ограничивают возможности исследования субмикронной фракцией частиц.

* Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru); Светлана Александровна Терпугова (swet@iao.ru); Татьяна Александровна Докукина (dta@iao.ru); Виктор Викторович Польшкин (victor@iao.ru); Елена Петровна Яшуева (helen@iao.ru).

Результаты и их обсуждение

Проводившиеся в предыдущие годы эксперименты, в которых параллельно измерялись аэрозольные и метеорологические параметры в Томске и фоновом лесном районе вблизи пос. Киреевск на расстоянии примерно 60 км от города, показали, что процессы формирования субмикронного аэрозоля имеют, по крайней мере, региональный масштаб и лишь примерно в 25% реализаций наблюдается влияние антропогенного фактора на получаемые данные [3, 4]. Это позволяет считать, что результаты многолетних наблюдений, обсуждаемые в статье, отражают основные особенности конденсационной активности субмикронного аэрозоля в исследуемом регионе.

Ранее нами был изучен годовой ход параметра конденсационной активности [3], основной чертой которого является наличие максимума в весеннее время и минимума в летнее. Подобный годовой ход является стабильным, однако величина максимума и минимума различна для разных лет.

В настоящей статье дан анализ межгодового хода параметра конденсационной активности атмосферного аэрозоля при усреднении за год и при разбиении на сезоны, а также выявлены связи с метеорологическими и аэрозольными параметрами.

На рис. 1 показаны среднегодовые значения параметра γ , а также его среднесезонные значения для разных лет.

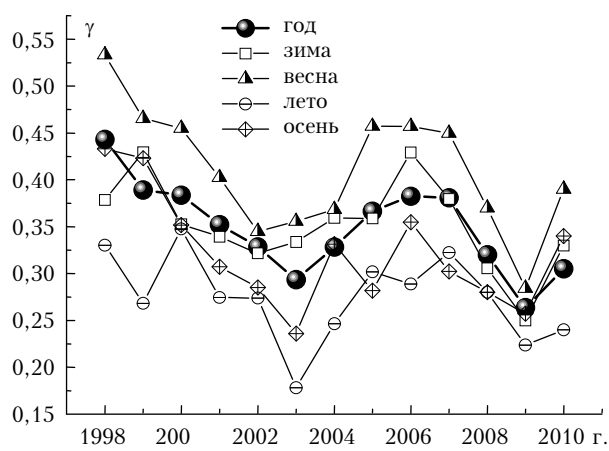


Рис. 1. Среднегодовые и среднесезонные для каждого года значения параметра конденсационной активности

Разбиение по сезонам проводилось с учетом среднеклиматических сроков их наступления [5]. Среднегодовые значения рассчитывались по календарному году.

В межгодовом ходе усредненного за год параметра конденсационной активности наблюдаются минимум в 2003 г., затем возрастание с максимумом в 2005–2007 гг. и дальнейший спад к 2009 г. В 2010 г. снова наметилась тенденция роста γ . Как следует из рис. 1, изменчивость рассматриваемой величины для каждого из сезонов года во многом отражает динамику общего долговременного процесса.

Межгодовой ход данных весеннего сезона характеризуется спадом значений до 2002–2004 гг. с воз-

растанием к 2005–2007 гг. и их уменьшением к 2009 г. В межгодовой изменчивости параметра γ в зимний сезон наблюдаются небольшой максимум зимой 1999/2000 г., минимум зимой 2002/03 г., затем второй максимум зимой 2005/06 г. и последующий спад до 2009 г. Для средних значений летнего сезона характерны следующие особенности: максимум в 2000 г., затем минимум в 2003 г. и рост с вершиной в 2007 г. с последующим спадом к 2009 г. Межгодовой ход усредненного параметра конденсационной активности осенью имеет следующий вид: минимум в 2003 г., затем небольшой максимум в 2004 г., минимум в 2005 г. и максимум в 2006 г. с последующим спадом до 2009 г. Тенденция роста γ в 2010 г. является характерной для всех сезонов.

Для выявления характерных периодов изменчивости параметра конденсационной активности был рассчитан временной спектр мощности его флуктуаций. Результаты расчетов приведены на рис. 2 отдельно для коротких (до 30 дней, а) и длинных периодов (б).

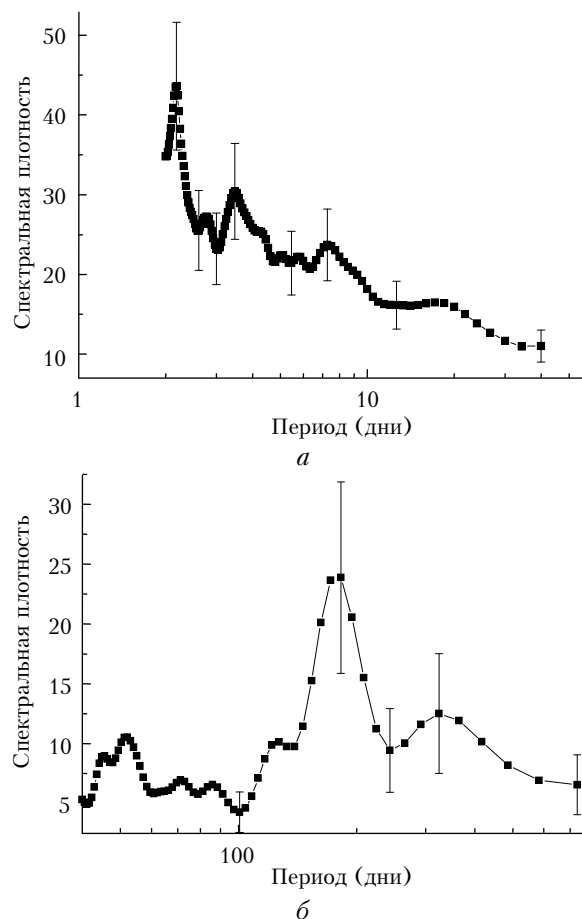


Рис. 2. Анализ периодичностей 13-летнего ряда параметра конденсационной активности

В области «короткопериодных» вариаций максимумы наблюдаются на частотах, соответствующих периодам ~4 и 7 дней. Наибольшая спектральная плотность проявляется для периодов ~4 дня, что соответствует синоптическому циклу смены воздушных

масс. Это и естественно, так как различные воздушные массы приносят в пункт наблюдения аэрозольные частицы, которые имеют разную продолжительность присутствия в атмосфере, сформированы под действием разных источников, что должно сказываться и на специфике формирования и их микрофизического состава. В «долгопериодном» диапазоне ярко выражены годовой и полугодовой циклы, кроме этого можно выделить еще и период около 50 сут.

В работе [6] для интерпретации данных, полученных в Звенигороде, сделана попытка связать параметр конденсационной активности с направлением прихода воздушной массы на основании анализа 2-суточных обратных траекторий. Мы на данном этапе ограничились рассмотрением лишь типа воздушной массы.

В Западной Сибири погода и, соответственно, аэрозольный состав, как правило, определяются чередованием умеренных и арктических воздушных масс. Реже наблюдаются вторжения субтропических и очень редко тропических воздушных масс. В таблице приведены частоты повторяемости разных воздушных масс по годам. Для 2009 и 2010 гг. данные синоптического анализа отсутствуют.

Год	Тип воздушной массы, %			
	арктическая	умеренная	субтропическая	тропическая
1999	39,44	51,50	7,42	1,64
2000	53,81	36,65	8,88	0,66
2001	41,12	51,88	7,00	0,00
2002	32,16	52,13	15,71	0,00
2003	28,66	44,65	24,88	1,81
2004	67,79	29,57	2,64	0,00
2005	59,78	33,76	6,46	0,00
2006	40,95	39,04	18,49	1,52
2007	26,95	55,00	17,45	0,60
2008	26,83	41,70	26,36	5,11

Напомним, что в рассматриваемый период минимум конденсационной активности наблюдался в 2003 и 2008 гг. Из таблицы видно, что в эти годы наблюдался и резкий рост количества субтропических воздушных масс в районе измерений. Для нашего региона это означает, что воздух поступал из аридных и полупустынных районов Казахстана и Средней Азии, т.е. преимущественно пылевой и песчаный аэрозоль, обладающий низкой гигроскопичностью.

Измерения коэффициентов направленного рассеяния в прибрежном районе [7] показали, что влияние влажности на угловые характеристики рассеянного излучения различно при разной запыленности атмосферы. Трансформация индикатрисы рассеяния с ростом влажности значительна при уровне коэффициента рассеяния $\sigma \geq 150 \text{ Мм}^{-1}$ и практически не проявляется при $\sigma < 100 \text{ Мм}^{-1}$. Авторы работы [7] делают вывод, что с ростом запыленности атмосферы в распределении частиц по размерам возрастает относительное содержание частиц, заметно изменяющихся под воздействием относительной влажности воздуха.

Исходя из этого, можно предположить, что и в наших исследованиях будет возможно связать параметр конденсационной активности с уровнем запыленности атмосферы, для характеристики которого мы используем коэффициент рассеяния под углом 45° .

На рис. 3 представлены среднегодовые значения коэффициента $\mu(45^\circ)$ «сухого» аэрозоля, полученные по данным Аэрозольной станции ИОА, и параметра γ .

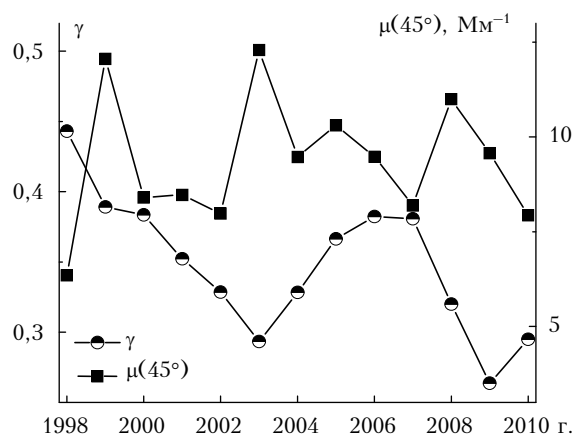


Рис. 3. Среднегодовые значения параметра конденсационной активности γ и коэффициента рассеяния сухой основы аэрозоля $\mu(45^\circ)$

В работе [8] было показано, что период изменчивости счетной концентрации аэрозоля $r > 0,2 \text{ мкм}$ в приземном слое атмосферы в районе г. Томска составляет примерно 11 лет. В то же время среднегодовые значения $\mu(45^\circ)$, которые отражают изменчивость субмикронных частиц, испытывают межгодовые колебания более часто. Период изменения параметра конденсационной активности, по нашим данным 1998–2010 гг., составляет около 6 лет. Исходя из сопоставления (рис. 3), можно заключить, что параметр конденсационной активности определяется, главным образом, не содержанием аэрозоля в воздушной массе, а другими параметрами, характеризующими качественный состав аэрозоля.

Одним из таких параметров может быть размер частиц. Для выявления влияния дисперсности частиц на их конденсационную активность использовались данные о функции распределения частиц по размерам, измеряемой фотоэлектрическим счетчиком, входящим в состав Аэрозольной станции. По ним был рассчитан параметр X , равный отношению концентраций субмикронной (радиус частиц $r = 0,2 \div 0,5 \text{ мкм}$) и грубодисперсной ($r = 0,5 \div 2 \text{ мкм}$) фракций частиц: $X = N_{\text{сбм}}/N_{\text{гр}}$. На рис. 4 приведены среднесезонные значения X для разных лет в сравнении с параметром конденсационной активности.

Видно, что для всех сезонов наблюдается хорошо выраженная антикорреляция указанных характеристик, т.е. при преобладании относительной доли мелкодисперсных частиц в приземном слое атмосферы конденсационная активность аэрозоля снижается. Известно, что увеличение размера аэрозольных

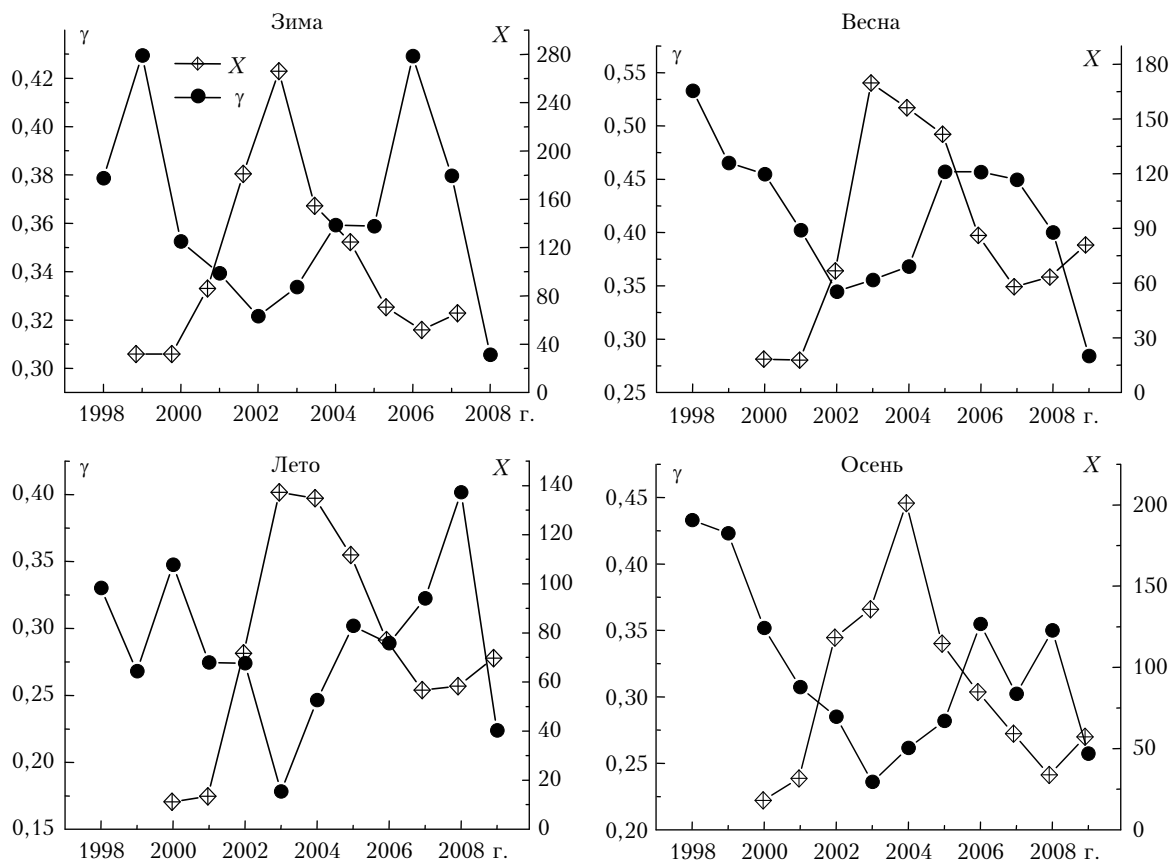


Рис. 4. Среднесезонные значения параметра конденсационной активности γ и параметра X , характеризующего спектр размеров частиц

частиц при росте относительной влажности воздуха во многом зависит от соотношения растворимых и нерастворимых составляющих в аэрозольном веществе [9]. Обнаруженная связь γ с соотношением $X = N_{\text{сбм}}/N_{\text{гр}}$ может свидетельствовать о том, что повышение доли более крупных частиц в функции распределения определяет и увеличение относительного содержания растворимого вещества. В настоящее время не представляется возможным корректно выявить, является ли это следствием изменения химического состава субмикронных частиц в процессе их старения или же того обстоятельства, что аэрозоль, сформированный разными источниками, изначально имеет кроме характерного химического состава еще и свой специфический спектр размеров.

В то же время этот факт может послужить стимулом для изучения химического состава частиц разных размеров.

Заключение

На основе анализа наблюдений 13-летнего ряда параметра конденсационной активности аэрозоля в приземном слое атмосферы выявлено, что наиболее значимые его изменения наблюдаются в годовом ходе. Обнаруженные более медленные колебания с периодом 6–7 лет определяют необходимость дальнейшего продолжения исследований.

Показано, что во все сезоны наблюдается снижение конденсационной активности в ситуациях, когда в составе аэрозоля преобладают мелкодисперсные частицы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-05-00162) и Госконтракта Минобрнауки РФ № 02.740.11.0674.

1. *Ивлев Л.С.* Аэрозольное воздействие на климатические процессы // *Оптика атмосф. и океана*. 2011. Т. 24, № 5. С. 392–410.
2. *Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С.* Активная спектрофелометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля // *Оптика атмосф. и океана*. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 428–436.
3. *Панченко М.В., Терпугова С.А., Козлов В.С., Польшкин 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.
4. *Панченко М.В., Польшкин В.В., Терпугова С.А., Тулаков А.Г., Шмаргунов В.П., Яушева Е.П.* О формировании среднерегionalного аэрозольного фона // *Оптика атмосф. и океана*. 1995. Т. 8, № 7. С. 1112–1114.
5. *Климат Томска* / Под ред. С.Д. Кошинского, Л.И. Трифионовой, Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 176 с.

6. Исаков А.А., Тихонов А.В. О сопоставлении осредненных направлений прихода в Подмоскowie воздушных масс со средними величинами параметра Хенела и показателя преломления вещества частиц // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 9–13.
7. Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалагов Ю.А., Веретенников В.В., Ужегов В.Н., Фадеев В.Я. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок. Новосибирск: Наука, 1988. 201 с.
8. Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость озона и аэрозоля в районе Томска и оправдываемость прогноза их среднегодовых концентраций на десятилетие // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 772–776.
9. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. М.: Мир, 1987. 280 с.

M.V. Panchenko, S.A. Terpugova, T.A. Dokukina, V.V. Polkin, E.P. Yausheva. **Long-term variability of aerosol condensation activity in Tomsk.**

The paper presents the results of 13-year long investigations (1998–2010) of aerosol condensation activity in Tomsk. In the long-term behavior of the parameter of condensation activity, along with annual cycle and its second harmonics, the tendency is observed of slower oscillations ~ 6–7 years. Maximum values were observed in 1998–1999 and 2005–2007. Minimum annual mean values were realized in 2003 and 2008, i.e., the years when intrusions of subtropical air masses from arid regions of Kazakhstan and Middle Asia were more often.