

Ю.А. Пхалагов<sup>1</sup>, В.Н. Ужегов<sup>1</sup>, М.В. Панченко<sup>1</sup>, И.И. Исполитов<sup>2</sup>

## Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН,

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 29.05.2006 г.

На основе комплексных натурных измерений проанализирована взаимосвязь вариаций коэффициентов аэрозольного ослабления оптической радиации и напряженности атмосферного электрического поля в условиях дымки и дымового смога. Обнаружено, что при дымовом смоге с ростом замутнения атмосферы наблюдается значительное (почти на порядок величины) уменьшение напряженности поля. Это противоречит известному электрооптическому соотношению и дает основание предположить, что в дымовом смоге существенно возрастает количество заряженных частиц и резко изменяется характер электрооптических связей. При большом числе пожаров на Земле это обстоятельство необходимо учитывать в климатических моделях и иметь в виду при рассмотрении физических механизмов влияния солнечной активности на погоду и климат.

### Введение

Известно, что тропосферный аэрозоль наряду с парниковыми газами (ПГ) является важным климатоформирующим фактором, влияющим на радиационный баланс Земли [1, 2]. Воздействие аэрозоля на радиационный баланс проявляется через процессы облакообразования, а при безоблачном небе через прямое ослабление солнечной радиации и изменение альбедо системы «атмосфера – подстилающая поверхность». При этом в различных конкретных случаях аэрозоль может как усиливать парниковый эффект, обусловленный ПГ, так и частично компенсировать его. А вот в какую сторону сработает аэрозольный фактор, зависит от химического состава и микроструктуры аэрозоля, а также от метеорологических условий, формирующих его высотный профиль. Особенно важное значение в контексте проблемы влияния аэрозоля на климат имеют ситуации задымления атмосферы вследствие лесных и торфяных пожаров, регулярно возникающих в различных районах земного шара и выбрасывающих в атмосферу большое количество дымового аэрозоля [3]. Поскольку дымовой аэрозоль участвует в процессе облакообразования, эффективность которого существенно зависит от наличия или отсутствия заряда на частицах при гетерогенной конденсации [4], то представляется важным в натурных измерениях выявить особенности взаимодействия дымового аэрозоля с электрическим полем атмосферы.

В рамках обсуждаемой задачи представляло интерес исследовать динамику коэффициента аэрозольного ослабления оптического излучения и напряженности электрического поля атмосферы в условиях задымления атмосферы при лесном пожаре.

В данной статье обсуждаются предварительные результаты таких исследований, проведенных в районе г. Томска в 2004 г.

### Описание эксперимента

Работы проводились в период с 5 по 25 мая, когда в регионе периодически возникали лесные пожары, обычно связанные с весенними поджогами сухой прошлогодней травы. В течение этого периода были организованы одновременные круглосуточные измерения спектрального пропускания атмосферы  $T(\lambda)$  в области длин волн  $\lambda = 0,44 \div 12$  мкм на приземной трассе и напряженности атмосферного электрического поля  $E$ .

Измерения прозрачности атмосферы выполнялись с периодичностью 2 ч (по нечетным часам) с помощью автоматизированного фильтрового фотометра [5], представляющего собой два измерительных канала, один из которых перекрывает спектральный диапазон длин волн  $\lambda = 0,44 \div 1,06$  мкм (8 длин волн), а второй –  $1,06 \div 12$  мкм (15 длин волн). Фотометр работает по схеме с отражением на базе 415 м (общая длина измерительной трассы 830 м). В качестве отражателя использовался зеркальный катафот с диаметром главного зеркала 500 мм и фокусным расстоянием 1500 мм. Измерения на обоих каналах велись параллельно. Длительность цикла составляла 30 мин. За это время регистрировалось шесть спектров сигналов по первому каналу и четыре по второму, которые при обработке усреднялись.

Прозрачность слоя атмосферы  $T(\lambda)$  и спектральные коэффициенты общего ослабления  $\varepsilon(\lambda)$  находилась по методике, предложенной в [6]. По

полученным значениям коэффициентов  $\epsilon(\lambda)$  с помощью статистической методики [7], основанной на аппарате множественной линейной регрессии, выделялись коэффициенты аэрозольного ослабления  $\beta(\lambda)$ .

Измерения напряженности атмосферного электрического поля осуществлялись ежеминутно на стационарном электростатическом флюксметре «Поле-2», установленном на металлической сетке в конце измерительной трассы. Для формирования общего массива данных проводилось 30-минутное усреднение полученных значений  $E$  также по нечетным часам. Все оптические и электрические измерения сопровождалось стандартными метеонаблюдениями, а также измерениями концентрации угарного газа (CO), массовой концентрации саже-содержащего аэрозоля ( $M_s$ ), уровня радиационного фона, проводившимися на постоянно действующих станциях Института оптики атмосферы СО РАН.

Всего за время измерений был получен массив, насчитывающий 140 реализаций всех перечисленных выше параметров.

## Результаты измерений

В целом в период измерений в регионе наблюдалась типичная для мая очень изменчивая погода. Так, температура воздуха  $t$  варьировала от 1 до 35 °С, относительная влажность  $RH$  от 20 до 97%, а метеорологическая дальность видимости от 3 до 30 км.

Изменение температурно-влажностного режима в регионе в период измерений показано на рис. 1, где приведен временной ход параметров  $t$  и  $RH$ , сглаженных скользящим средним, чтобы уменьшить суточную динамику.

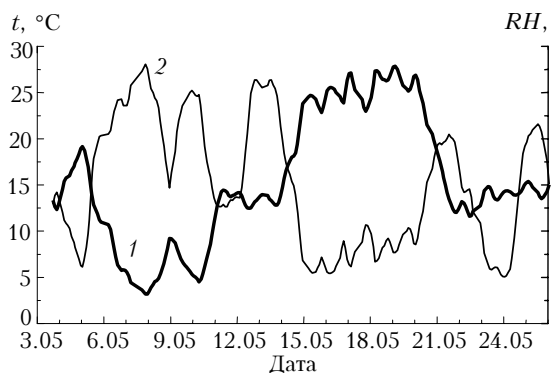


Рис. 1. Сглаженная межсуточная изменчивость температуры (1) и относительной влажности воздуха (2) в период измерений

Видно, что температура воздуха в период измерений очень сильно менялась, а ее максимальные значения наблюдались с 15 по 21 мая. Соответственно относительная влажность воздуха в этот период принимала минимальные значения ( $RH = 35\div 50\%$ ). Именно в этот жаркий и сухой период в регионе наблюдалось наиболее сильное задымление атмосферы.

Из рис. 2 видно, что в период с 15 по 21 мая во временном ходе коэффициентов  $\beta(\lambda)$  на всех длинах волн наблюдается максимум, который в данном масштабе наиболее четко проявляется в видимой области спектра ( $\lambda = 0,45$  мкм).

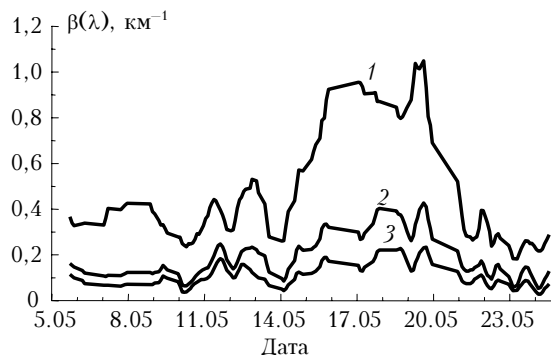


Рис. 2. Временная изменчивость коэффициентов аэрозольного ослабления при  $\lambda = 0,45$  (кривая 1); 1,60 (2) и 3,9 мкм (3) за период с 5 по 25 мая 2004 г

Обращает на себя внимание синхронность вариаций коэффициентов  $\beta(\lambda)$  в видимой и ИК-областях спектра. Количественной мерой выявленной синхронности служат коэффициенты автокорреляции параметра  $\beta(0,50)$  с параметрами  $\beta(1,06)$ ,  $\beta(3,9)$  и  $\beta(10,6)$ , представленные на рис. 3 и составляющие 0,91; 0,83 и 0,86 соответственно.

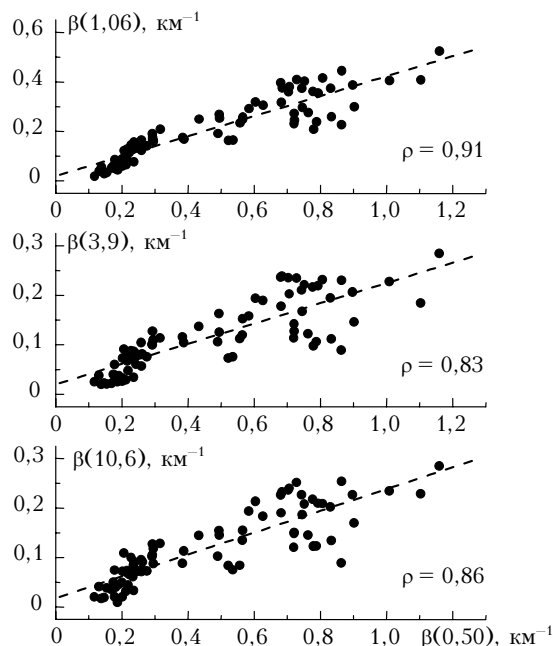


Рис. 3. Статистическая связь вариаций коэффициентов аэрозольного ослабления в видимой и ИК-областях спектра;  $\rho$  — нормированный коэффициент корреляции

Такие высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют о наличии общего фактора в аэрозольном ослаблении видимой и ИК-радиации в условиях дыма лесных пожаров. Вероятней всего этим общим фактором здесь является то обстоятельство, что во время пожара в атмосферу посту-

пают одновременно и дымовые частицы, образованные из газовой фазы, и более крупные частицы, вынесенные в атмосферу в зоне пожара с подстилающей поверхностью.

Временные ходы концентрации угарного газа и массовой концентрации сажесодержащего аэрозоля  $M_s$  (рис. 4) также имеют хорошо выраженный максимум в период с 15 по 21 мая, что однозначно указывает на дымовую природу максимума в аэрозольном ослаблении (см. рис. 2).

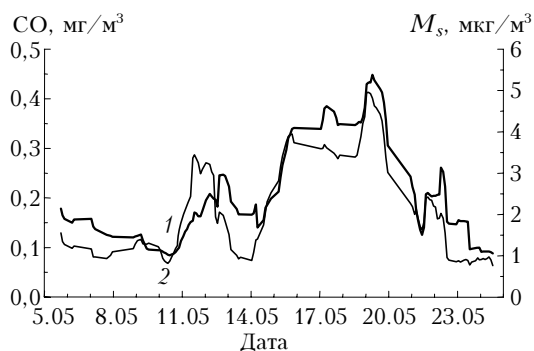


Рис. 4. Временной ход концентраций CO (кривая 1) и сажесодержащего аэрозоля  $M_s$  (2)

Взаимосвязь вариаций коэффициента аэрозольного ослабления и напряженности электрического поля  $E$  в условиях дымового смога показана на рис. 5, из которого следует, что в период наиболее сильного задымления атмосферы наблюдается значительное падение напряженности электрического поля, т.е. во время дымового смога параметры  $\beta(0,50)$  и  $E$  изменяются в противофазе.

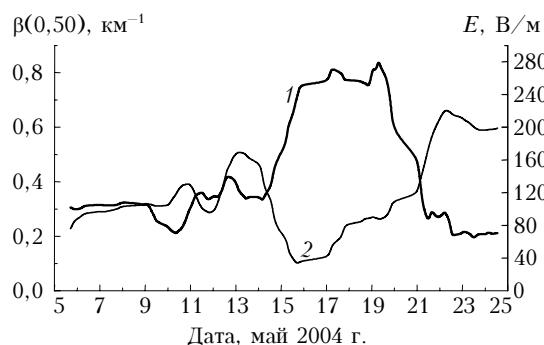


Рис. 5. Сглаженный временной ход коэффициента аэрозольного ослабления  $\beta(0,50)$  (кривая 1) и напряженности атмосферного электрического поля  $E$  (2) в период измерений

Это противоречит известному электрооптическому соотношению [8], в соответствии с которым в условиях хорошей погоды напряженность поля также должна возрастать с ростом замутнения атмосферы.

Для объяснения обнаруженного эффекта был проведен расчет нормированных коэффициентов взаимной корреляции  $\rho$  между параметром  $E$  и коэффициентами  $\beta(\lambda)$  в видимой и ИК-областях спектра. Результаты расчета представлены в таблице.

Средние значения коэффициентов  $\beta(\lambda)$ , их СКО —  $\sigma_{\beta}(\lambda)$  и нормированные коэффициенты взаимной корреляции между  $\beta(\lambda)$  и напряженностью поля  $E$  в условиях задымленной атмосферы

$\lambda$ , мкм	$\bar{\beta}(\lambda)$ , км <sup>-1</sup>	$\sigma_{\beta}(\lambda)$ , км <sup>-1</sup>	$\rho_{\beta(\lambda), E}$	
			Настоящая работа	[9]*
0,45	0,529	0,31	-0,67	0,51
0,50	0,467	0,276	-0,67	0,51
0,55	0,416	0,246	-0,67	0,50
0,63	0,344	0,205	-0,66	0,49
0,69	0,315	0,189	-0,67	0,49
0,87	0,246	0,146	-0,64	0,47
1,06	0,208	0,122	-0,62	0,42
1,6	0,158	0,094	-0,62	0,34
2,17	0,134	0,078	-0,57	0,38
3,91	0,116	0,068	-0,55	0,31
8,18	0,121	0,073	-0,6	0,06
10,6	0,121	0,071	-0,59	0,14

\* Измерения проводились в условиях осенней дымки.

Видно, что коэффициенты корреляции между  $E$  и  $\beta(\lambda)$  при пожаре оказались отрицательными и достаточно близкими во всем диапазоне длин волн. Представленные в последнем столбце коэффициенты корреляции между  $E$  и  $\beta(\lambda)$ , полученные в [9] при измерениях в осенней дымке, имеют совершенно другой вид. Они положительны и убывают с ростом длины волны, что свидетельствует о том, что основной сток легких аэроионов в условиях хорошей погоды идет на мелкие аэрозольные частицы и именно этот механизм в этих условиях регулирует изменчивость атмосферного электрического поля. Поэтому совершенно очевидно, что электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога обусловлены другими механизмами.

Обнаруженный эффект падения напряженности электрического поля во время дымового смога, по сути, указывает на то, что с ростом концентрации аэрозоля в атмосфере количество заряженных частиц в дымах не только не уменьшается (как это происходит в условиях хорошей погоды), а значительно возрастает. Это дает нам основание предположить, что либо при пожаре в регионе по каким-то причинам идет очень интенсивный рост числа легких аэроионов, приводящий к снижению напряженности поля, либо образующийся в зоне пожара тонкодисперсный фотохимический аэрозоль является изначально заряженным и динамика поля обусловлена совсем другими механизмами.

Известно, что рост числа легких аэроионов может происходить за счет увеличения радиационного фона в регионе [8, 10]. Как уже указывалось выше, в числе многих параметров в данном эксперименте постоянно измерялся и радиационный фон в регионе. Оказалось, что за весь период измерений радиационный фон изменялся в пределах от 16 до 17 мкР/ч, что значительно меньше погрешности измерений этого параметра. Это означает, что вариации радиационного фона в регионе не могли повлиять на концентрацию легких аэроионов в атмосфере.

Если предположить, что образующийся в зоне пожара тонкодисперсный аэрозоль является изначально заряженным, то наиболее вероятным механизмом, объясняющим падение напряженности электрического поля во время дымового смога, может быть образование отрицательного объемного заряда в приземном слое атмосферы, который частично компенсирует исходное электростатическое поле [8,11].

### Основные выводы

Обнаружен эффект значительного падения напряженности электрического поля (с 200 до 30–60 В/м) во время дымового смога при увеличении концентрации аэрозоля в атмосфере. Это явно противоречит известному электрооптическому соотношению и указывает на то, что с увеличением числа аэрозольных частиц количество легких аэроионов в атмосфере не только не уменьшается, а значительно возрастает. Выдвинуто предположение, что образующийся при пожаре тонкодисперсный фотохимический аэрозоль представляет собой заряженные частицы, которые формируют отрицательный объемный заряд в приземном слое атмосферы и частично компенсируют исходное электростатическое поле.

Полученный результат свидетельствует об очень сильном влиянии пожаров на электрооптические характеристики нижней тропосферы. При большом числе пожаров на Земле это обстоятельство необходимо учитывать в климатических моделях и иметь в виду при рассмотрении физических механизмов влияния солнечной активности на погоду и климат.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИОА СО РАН Б.Д. Белану и В.С. Козлову за предоставленные данные по изменчивости угарного газа, сажеосодержащего аэрозоля и радиационного фона в период измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 04-05-65179) и Совета по гран-

там Президента РФ для ведущих научных школ (грант № НШ-1008.2003.5).

1. Розенберг Г.В. Тонкодисперсный аэрозоль и климат // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1982. Т. 18. № 11. С. 1192–1198.
2. Кондратьев К.Я. Радиационное возмущающее воздействие, обусловленное аэрозолем // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 1. С. 5–17.
3. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 279–290.
4. Ивлев Л.С., Хворостовский С.Н. Исследование воздействия космического излучения на микроструктурные параметры и оптические свойства нижней атмосферы в средних и высоких широтах. 1. Влияние зарядов на гетерогенные процессы в атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 12. С. 1073–1080.
5. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности приземной атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 667–671.
6. Ужегов В.Н., Пхалагов Ю.А., Щелканов Н.Н. Модифицированный алгоритм статистической обработки результатов измерений ослабления излучения на горизонтальных трассах: Тез. докл. VI Заседания Рабочей группы проекта «Аэрозоли Сибири». Томск: Изд. ИОА СО РАН, 1999. С. 62.
7. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н. Статистический метод разделения коэффициентов общего ослабления ИК-радиации на компоненты // Оптика атмосфер. 1988. Т. 1. № 10. С. 3–11.
8. Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физ. наук. 1962. Т. LXXVI. Вып. 4. С. 593–642.
9. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Овчаренко Е.В., Генин В.Н., Донченко В.А., Кабанов М.В., Щелканов Н.Н. Исследование корреляционных связей аэрозольного ослабления оптического излучения с напряженностью атмосферного электрического поля // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 2. С. 105–108.
10. Смирнов В.В. Электрические факторы чистоты воздуха // Тр. ИЭМ. 1983. Вып. 30 (104). С. 64–106.
11. Кречетов А.А., Шаманский Ю.В. Градиент потенциала электрического поля как индикатор загрязнения атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 1–2. С. 139–141.

#### *Yu.A. Pkhalagov, V.N. Uzhegov, M.V. Panchenko, I.I. Ippolitov. Electro-optical relations in atmosphere under smog conditions.*

Interconnection between variations of aerosol attenuation coefficients of optical radiation and the atmospheric electric field intensity under haze and smog conditions is analyzed based on complex field measurements. It is found that in the smog conditions, a significant (almost by an order of magnitude) decrease of the field intensity is observed at increasing turbidity of atmosphere. This contradicts to the well-known electro-optical relation and gives grounds to suppose that the number of charged particles in smog significantly increases, as well as the character of electro-optical relations sharply changes. At a large number of fires on the Earth, this fact has to be taken into account in models of climate and when considering mechanisms of the solar activity influence on the weather and climate.