

О характеристиках дымов лесных и торфяных пожаров в Центральной России летом 2010 г.

А.А. Исаков¹, П.П. Аникин¹, А.С. Елохов¹, Г.А. Курбатов^{2*}

¹Учреждение Российской академии наук
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
109017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119992, г. Москва, ГСП-2, Ленинские горы

Поступила в редакцию 7.02.2011 г.

Анализируются результаты комплексных измерений характеристик приземного аэрозоля, малых газовых составляющих CO, NO, NO₂, O₃ и метеорологических параметров атмосферы. Показано, что, несмотря на устойчивость блокирующего антициклона, под влиянием фронтов серии атлантических циклонов происходила циклическая смена направлений приземных ветров, приводившая к периодическим вариациям массовой концентрации субмикронного аэрозоля M с характерным периодом 7 сут. В спектрах вариаций газовых компонентов этот период выражен относительно слабо, в вариациях CO он вообще отсутствует. В пиках задымлений наблюдались рекордные значения измеряемых величин. Так, оценки массовой концентрации дали значения 5000 мкг/м³. Конденсационная активность (параметр Хенела) дымов 2010 г. (0,2–0,4) оказалась заметно выше, чем в дымах 2002 г. (0,1–0,15). Во внутригодовом ходе среднесуточных значений M , как и ранее, обнаружены пять полных 10-недельных колебаний, причем положение третьего по счету (июньского) максимума необычно – в течение последних 20 лет на Звенигородской научной станции ИФА РАН в июне стабильно наблюдался глубокий и широкий (не менее 1 мес) минимум M . Этот максимум как бы предшествовал по времени формированию блокирующего циклона.

Ключевые слова: аэрозоль, дымы, массовая концентрация, параметр Хенела; aerosol, smoke, mass concentration, Hanel parameter.

Введение

В статье приводятся результаты предварительного анализа вариаций в июле–августе оптических характеристик дымов лесных и торфяных пожаров в Центральной России и содержания некоторых газов – окислов азота NO, NO₂, озона, угарного газа CO, зарегистрировавшиеся на Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА РАН. Засухи, приводящие к лесным пожарам, для Центральной России не редкость. Так, за последнее десятилетие это (с учетом кратковременного эпизода июля 1999 г.) третий случай, однако летом 2010 г. их масштабы оказались огромными. Обычно подобные случаи связаны с формированием над европейской частью страны обширного долгоживущего блокирующего антициклона таким образом, что центральные районы России оказываются в тыловой его части. Основная масса очагов пожаров в 1972, 2002, 2010 гг. как бы подковой охватывала Москву от северо-востока до юго-востока, и продукты горения приносились восточными ветрами.

В 2002 г. нами на ЗНС были проведены наблюдения в условиях задымления и исследованы оптические и микрофизические характеристики «природных» дымовых аэрозолей [1, 2]. Были получены распределения частиц по размерам, оценены показатель преломления вещества частиц и параметр Хенела. Нынешние пожары и ситуации сильных задымлений позволяют сравнить некоторые характеристики этих явлений. Комплекс приборов, работавших летом 2010 г., был по сравнению с приборами 2002 г. существенно расширен, и объем полученной информации и результаты далеко выходят за рамки одной статьи. Поэтому в предлагаемой статье мы сосредоточились на анализе временных вариаций концентраций аэрозоля и некоторых газов.

Методика и аппаратура

Измерения проводились на ЗНС с помощью комплекса приборов, в числе которых были спектрополяриметр [1], серийный фотометр ФАН, метеокомплекс ЗНС, приборы поста Мосэкомониторинга, профиломер mtr5 [3] и спектрофотометр на основе монохроматора МДР-23 для оценки содержания двуокси азота в слое перемешивания (около 1–1,5 км) [4]. ФАН работал в режиме непрерывной записи с осреднением по 10-минутному интер-

* Андрей Александрович Исаков (A.A.Isakov@mail.ru); Петр Павлович Аникин; Александр Сульмнович Елохов; Григорий Александрович Курбатов.

валу, регистрировался коэффициент направленного светорассеяния D (45° , $\lambda = 0,51$ мкм) на угле 45° и длине волны $\lambda = 0,51$ мкм. Спектрополяриметр регистрировал поляризационные компоненты индикатрисы рассеяния на углах 45 , 90 и 135° в диапазоне длин волн $0,4-0,75$ мкм для влажного аэрозоля и его сухой основы. По этим данным оценивалась конденсационная активность аэрозоля.

Приборы Мосэкомониторинга регистрировали стандартный для постов этого типа набор параметров, в том числе приземные концентрации NO , NO_2 , O_3 , CO . Принцип измерения профиля температуры в атмосферном пограничном слое основан на приеме собственного теплового излучения атмосферы под разными углами места в максимуме полосы поглощения молекулярного кислорода (60 ГГц). Основные характеристики прибора: диапазон высот $0-600$ м, шаг дискретизации по высоте 50 м, длительность цикла измерений 5 мин.

Содержание NO_2 в вертикальном столбе воздуха (слой перемешивания) определяется методом дифференциальной спектроскопии, спектрометр регистрирует рассеянное в зените солнечное излучение [4].

Условия наблюдений

Первые признаки задымления появились на ЗНС примерно в середине июля, сильные задымления начались с 25 июля. Влияние блокирующего антициклона на западе Подмосковья проявилось примерно в начале июля (3 июля зафиксирован «последний» дождь).

На рис. 1. приведен временной ход атмосферного давления P в июле–августе, отражающий динамику метеорологической ситуации.

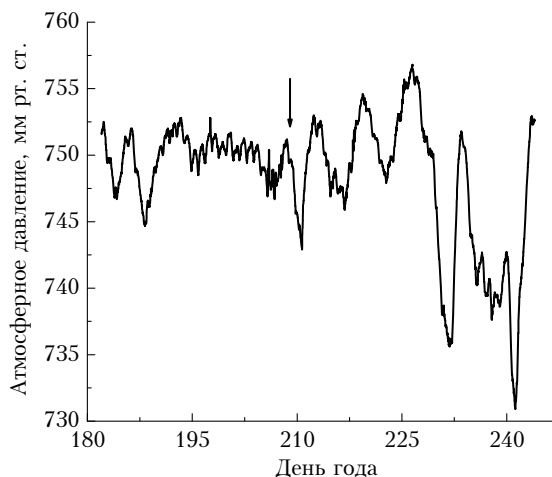


Рис. 1. Временная развертка атмосферного давления P в июле–августе 2010 г. на ЗНС

Две первые недели июля давление держалось почти постоянным, но в третьей декаде на графике P появляется характерная серия из четырех почти периодических колебаний с размахом около 10 мм рт. ст. Период этих колебаний устойчив и составляет примерно 7 сут.

Анализ карт геопотенциала с сайта университета Вайоминг показал, что это были четыре безрезультатные «попытки» атлантических циклонов «сместить» блокирующий антициклон. В это время ЗНС находилась в западной части антициклона и слабо выраженные теплые фронты циклонов из-за малого перепада температур проявлялись лишь в виде высокой перистой, перисто-кучево-облачности и в смене направления приземного ветра с восточных румбов на западные и юго-западные. Последнее обстоятельство предопределило циклическую смену на ЗНС периодов приносимых с востока сильных задымлений и практически фоновых ситуаций при западных ветрах.

В 2002 г. высота слоя задымления менялась от 300 м и примерно до 1,5 км [2]. Оценки толщины слоя, содержащего основное количество продуктов горения, выполненные разными методами для 2010 г., хорошо согласуются — около 300 м. На рис. 2 приведены полученные с помощью профилера высотные профили температуры для двух дней — 1.08 и 8.08. В обоих случаях к полуночи формировалась инверсия, глубина которой росла вплоть до 6 ч. Максимальная разность $\Delta T = T_{\text{приземная}} - T(h)$ достигалась при $h \sim 300$ м и составляла для 1.08 примерно 6° , а для 8.08 еще больше — 10° . Разрушение инверсии наступало около полудня.

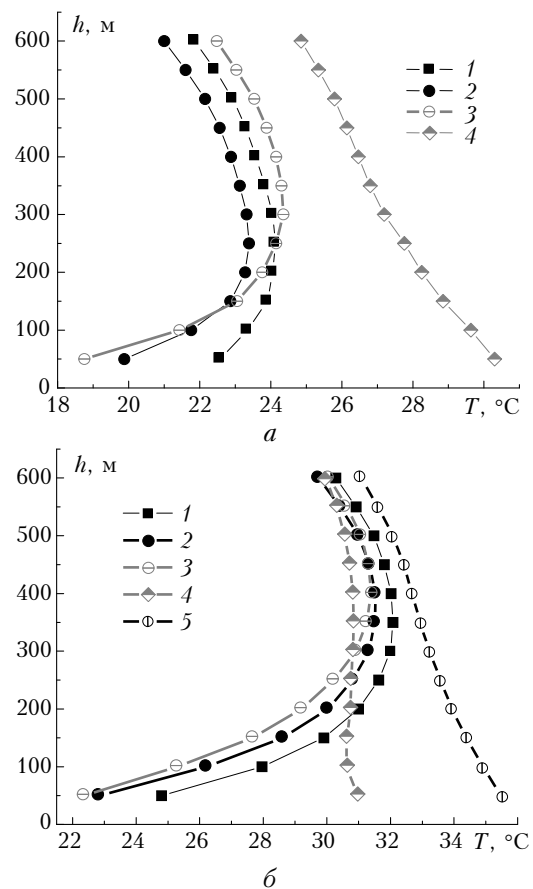


Рис. 2. Профили температуры воздуха на ЗНС: а — 1.08; 1 — 00 ч; 2 — 2 ч; 3 — 4 ч; 4 — 14 ч; б — 8.08; 1 — 00 ч; 2 — 2 ч; 3 — 4 ч; 4 — 6 ч; 5 — 12 ч; 6 — 14 ч

Результаты и их обсуждение

Временные развертки концентраций O_3 , NO , NO_2 и аэрозоля приведены на рис. 3–6.

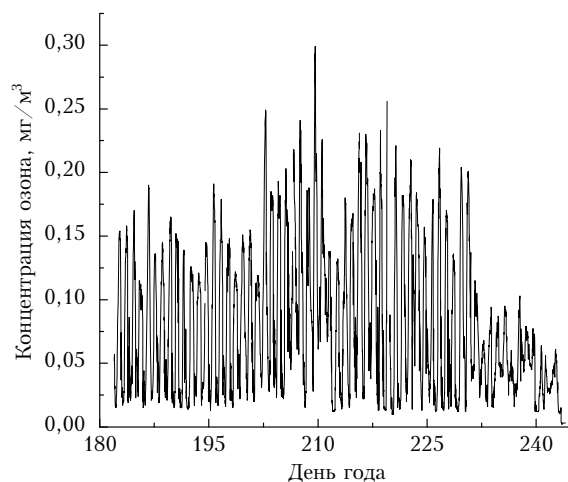


Рис. 3. Временная развертка приземной концентрации озона в июле–августе 2010 г. на ЗНС

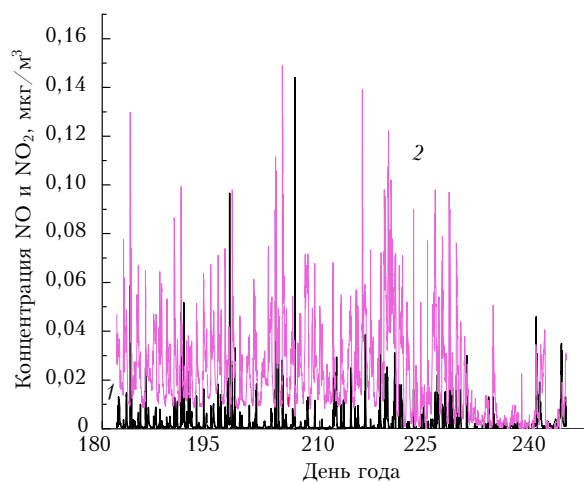


Рис. 4. Временная развертка приземной концентрации NO (кривая 1) и NO_2 (кривая 2) в июле–августе 2010 г. на ЗНС

Эти малые составляющие атмосферы активно участвуют в трансформации аэрозоля. В течение практически всего времени интенсивного задымления 25.07–15.08 дневные концентрации озона (рис. 3) в несколько раз превышали средний для этого сезона уровень (например, в августе 2009 г. «типowymi» значениями были $100\text{--}150\text{ мкг/м}^3$), регулярно достигая 200 мкг/м^3 и более. В момент наиболее сильного задымления 7 августа отчетливо ощущался запах озона, концентрация CO тоже многократно превышала средний уровень.

Здесь необходимо сделать оговорку. Хорошо известно, что присутствие в рабочей камере измерителя концентрации озона дымового аэрозоля несколько завышает показания прибора. Однако из рис. 3 следует, что приборы фиксировали очень высокие концентрации O_3 даже в случаях, когда

содержание аэрозоля было на уровне фона. При различии «фоновой» концентраций аэрозоля M и в выносе около двух порядков различия в показаниях озонометра составили лишь $\sim 30\%$, что дает верхнюю оценку возможного искажающего влияния дымов. Связь концентрации озона с метеорологическим циклом на рис. 3 проследить сложно, хотя на Фурье-спектре вариаций присутствует размытый максимум с периодом около 7 сут – тот же, что на рис. 1. Возможно, здесь сказалось влияние облачности, а не перенос воздушных масс.

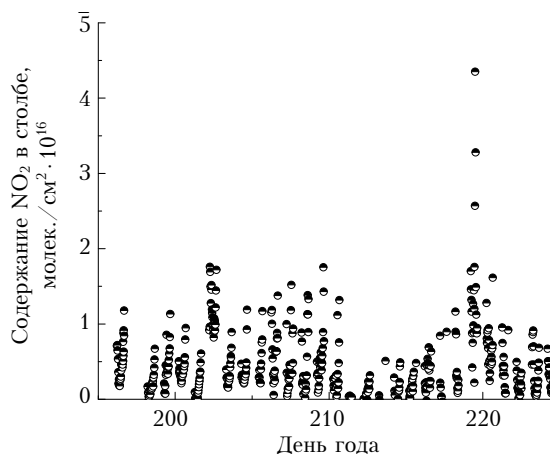


Рис. 5. Временная развертка содержания NO_2 в слое перемешивания в июле–августе 2010 г. на ЗНС

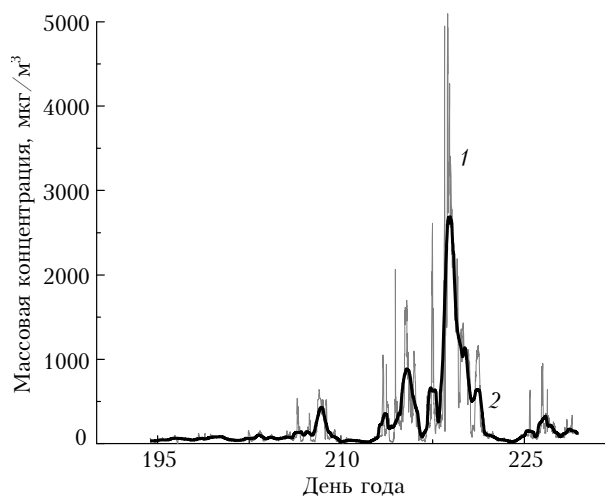


Рис. 6. Временная развертка приземной массовой концентрации аэрозоля M в июле–августе 2010 г. на ЗНС: 1 – исходная кривая; 2 – скользящее сглаживание по 100 точкам

Содержание NO_2 в пиках задымления тоже было чрезвычайно высоким на фоне низкой концентрации NO (см. рис. 4). Скорее всего, присутствие высоких концентраций озона привело к смещению обычного баланса концентраций NO и NO_2 в сторону последней. Интересно отметить, что соответствующее содержание NO_2 и NO в нижнем столбе тропосферы (0–1,5 км) (см. рис. 5) за исключением пикового дня 7 августа не обнаружива-

ли резких увеличений, высокие концентрации всех малых компонент, связанных с пожарами, сосредоточивались в очень тонком (порядка 300 м) приземном слое. Это подтверждается и результатами наблюдений на Останкинской башне [5].

На рис. 6 приведена временная развертка массовой концентрации субмикронного аэрозоля M . Пик ее пришелся на 6–8 августа. Максимальное зарегистрированное значение D равно примерно $1,7 \text{ км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ (для определяемой по формуле $M = 3000D$ имеем $M \sim 5000 \text{ мкг/м}^3$), что в пересчете на коэффициент рассеяния σ (если использовать соотношение $\sigma = 8,5D$) составит $\sim 14 \text{ км}^{-1}$ и соответственно метеорологическая дальность видимости $\sim 300 \text{ м}$. Это максимальное значение D , зарегистрированное на ЗНС за все время наблюдений. В среднем в период наиболее сильного задымления в первой декаде августа уровень σ колебался около $3\text{--}5 \text{ км}^{-1}$.

В целом во временной развертке массовой концентрации дымового аэрозоля M наблюдались довольно четко выделенные вариации с периодом около 4–5 сут, связанные, несмотря на устойчивость господствовавшего антициклона, с синоптическим циклом. На полученном с помощью Фурье-преобразования спектре мощности флуктуаций M отчетливо выделяются полусуточные, суточные, 2-, 4- и 8-суточные вариации. Поскольку для относительно короткого ряда данных (30 сут) в области низких частот положение максимумов в спектре определяется не слишком надежно (для 8 сут это всего 4 периода), естественно предположить, что это тот же самый период, что присутствует на рис. 1, а для 4 сут – вторая гармоника. Еще одним отличием дымов 2010 и 2002 гг. явилось то, что конденсационная активность их частиц оказалась достаточно высокой – 0,2–0,4, а в 2002 г. [1] характерные значения 0,1–0,15.

Особенности поведения внутригодовых вариаций массовой концентрации приземного аэрозоля в 2010 г. не ограничились дымовыми всплесками. Характерной чертой этого хода (не менее 70% случаев) на осредненных скользящим 30-суточным осреднением вариациях M являются два максимума (февральский и апрельский) и глубокий и широкий (порядка 2 мес) минимум M [6]. В 2010 г. уже в начале июня вместо минимума начал формироваться летний максимум. Такое поведение отмечено впервые за последние 20 лет [6].

Мы считаем возможным предположить, что вызвавшее третий максимум M нарушение обычного режима атмосферной циркуляции могло быть предвестником аномалии июля–августа, т.е. обе аномалии могли быть связаны между собой. На рис. 7 приведены временные развертки по данным 2010 г. как среднесуточных M , так и скользящее среднее.

Все дни с дымовыми выносами, а их было менее двух десятков, из ряда исключены. Для полноты картины, чтобы на кривой $\langle M \rangle$ рельефно прописался последний, пятый, период примерно 75-

суточных колебаний, добавлены данные первой декады 2011 г.

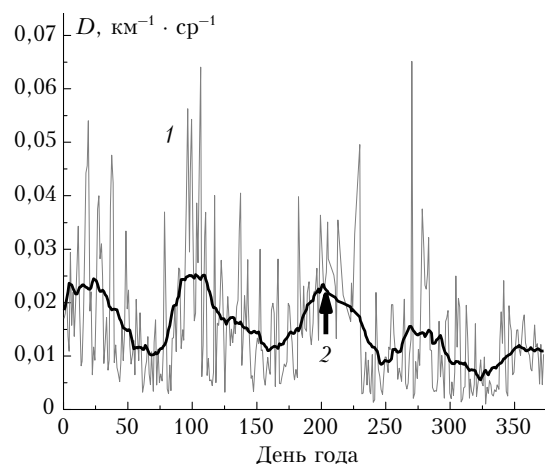


Рис. 7. Временная развертка величины среднесуточной приземной концентрации аэрозоля M (1) и 30-суточное скользящее среднее $\langle M \rangle$ (2) в 2010 г. на ЗНС

Заключение

Летом 2010 г. Западное Подмосковье оказалось в специфических условиях границы раздела западной периферии блокирующего антициклона и серии теплых секторов атлантических циклонов. Это породило квазициклическую смену направлений приземных ветров и периодические вариации массовой концентрации приземного аэрозоля. В пиках задымлений, особенно 7 августа, были зафиксированы рекордные, вплоть до 5000 мкг/м^3 , значения M . Были зафиксированы рекордные уровни приземных концентраций озона, двуокиси азота и угарного газа. Высота слоя аэрозоля и примесных газов составила около 300 м. В спектре вариаций концентраций аэрозоля отчетливо просматривался 7-суточный период синоптического цикла, в спектрах NO_2 и O_3 он выражен слабо, а в спектре вариаций CO вообще отсутствовал. Особенностью внутригодовых вариаций M был ярко выраженный 75-суточный цикл изменчивости M , содержавший пять полных, примерно равных по амплитуде и периодам, колебаний. Необычным оказалось отсутствие в ходе M широкого летнего минимума.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 10-05-01019 и 10-05-90014-Бел_а.

1. Исаков А.А. Спектрополяриметрические и нефелометрические исследования приземного аэрозоля в период лесных и торфяных пожаров в 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2003. Т. 39, № 6. С. 791–798.
2. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы г. Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40, № 3. С. 370–384.
3. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура,

- результаты измерений // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 7. С. 697–704.
4. Иванов В.А., Постыляков О.В. Оценка интегрального содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 471–474.
5. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Чубарова Н.Е., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Лезина Е.А., Задорожная О.С. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы Московского региона в 2010 г. // Докл. РАН. 2011. (в печати).
6. Исаков А.А. О внутригодовой изменчивости массовой концентрации субмикронного приземного аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 462–465.

A.A. Isakov, P.P. Anikin, A.S. Elokhov, G.A. Kurbatov. On characteristics of smokes of forest and peat fires in Central Russia in summer of 2010.

The results of complex measurements of the near surface aerosol and gas (CO, NO, NO₂, O₃) content and meteorological parameters are analyzed. It was shown that in spite of the stable blocking anticyclone, the cycling of the near surface wind directions occurred under the influence of the cyclone fronts. This resulted in periodical variations in the aerosol mass concentration with period of about 7 days. In the spectra of variations of the gaseous components this period is weakly displayed and is absent in the variations of the CO. The extreme values of the measured parameters were observed in the peaks of the smoke loading, the estimates of the mass concentration gave the values about $M \sim 5000 \text{ mcg/m}^3$. The Hanel parameter of the aerosol condensation activity for 2010 year smoke was found to be greater (0.2–0.4) than in 2002 year (0.1–0.15). In the intraannual variations of the daily mean M values, as in previous years, the five full oscillations with period about ten weeks were observed. The position of the third peak is abnormal. During the last 20 years at ZSS in June the deep minimum of the M values was stably observed. In 2010, this third maximum preceded the blocking anticyclone formation.