

Ю.А. Пхалагов*, И.И. Ипполитов**, В.Н. Ужegov*, А.В. Булдаков**,
М. Ю. Аршинов*

Исследования взаимосвязи между УФ-потокom, напряженностью электрического поля и оптико-микрофизическими характеристиками приземного слоя атмосферы

* *Институт оптики атмосферы СО РАН,*

** *Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 29.12.2001 г.

Рассматриваются предварительные результаты экспериментальных исследований взаимосвязи между интенсивностью рассеянной УФ-радиации Солнца, напряженностью электрического поля, субмикронной компонентой аэрозольного ослабления оптического излучения и концентрацией частиц микродисперсного диапазона в приземном слое атмосферы. Выявлено, что в малооблачную погоду между вариациями УФ-потока и напряженностью электрического поля имеется значимая отрицательная связь (коэффициент корреляции $\rho = -0,67$), а при сплошной облачности эта связь разрушается. Обнаружено также, что при безоблачном небе в течение дня под воздействием УФ-излучения Солнца происходит постепенное увеличение размеров микродисперсных частиц, изменяются их концентрации и значительно увеличивается ширина распределения.

Введение

Известно, что в современной теории климата большое значение придается учету влияния тропосферного аэрозоля на радиационные параметры климатической системы и в основном на ее альbedo, в формировании которого главную роль играет субмикронная фракция частиц [1]. Такой учет проводится с помощью различных расчетных и эмпирических аэрозольных моделей. Так как аэрозольное ослабление видимой и ближней ИК-радиации значительно варьирует во времени и пространстве, то для оценки его влияния в климатической системе более предпочтительными являются эмпирические модели оптических параметров аэрозольной атмосферы с небольшим числом входных параметров (см., например, [2]). Для обоснованного выбора входных параметров в таких моделях необходимы исследования различных физических факторов, вносящих значимый вклад в динамику искомой величины.

Постановка задачи

Как указывалось выше, в формировании альbedo системы «атмосфера – подстилающая поверхность» главную роль играет субмикронная фракция аэрозольных частиц [1]. Эта же фракция вносит определяющий вклад и в аэрозольное ослабление коротковолновой радиации в приземных дымках. Согласно [3, 4] субмикронный аэрозоль в атмосфере образуется в результате старения тонкодисперсного фотохимического

аэрозоля (с радиусом $r = 0,001 \div 0,02$ мкм), формирующегося из газовой фазы под воздействием УФ-излучения Солнца. Отсюда следует, что в определенных условиях вариации УФ-потока могут приводить к изменениям концентрации субмикронного аэрозоля и к соответствующим изменениям аэрозольного ослабления в коротковолновой области длин волн. Поскольку при старении тонкодисперсных частиц их рост в значительной степени идет за счет коагуляции, то важная роль в вариациях концентрации субмикронного аэрозоля должна принадлежать также напряженности атмосферного электрического поля. Заметим, что в работе [5] действительно была выявлена статистически значимая связь аэрозольного ослабления коротковолнового излучения с напряженностью атмосферного электрического поля.

В связи с этим целью данной работы было проведение комплексных исследований, включающих в себя синхронные измерения спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в приземных дымках (в области 0,44–1,06 мкм), дисперсного состава и концентрации частиц нанометрового размера (диаметр 0,003–0,20 мкм), напряженности атмосферного электрического поля и интенсивности потока УФ-радиации Солнца.

Заметим, что эта работа может представлять определенный интерес и для проблемы, связанной с изучением физических причин влияния вариаций солнечной активности на погоду и климат Земли. Проблема эта возникла в связи с тем, что изменение энергии на верхней границе атмосферы при вариациях солнечной

активности пренебрежимо мало по сравнению с общей энергией Солнца и ее совершенно недостаточно для непосредственного воздействия на циркуляцию воздушных масс или на облакообразование. Следовательно, должен существовать какой-то механизм, обеспечивающий большие изменения в энергетике нижней атмосферы под воздействием сравнительно маломощных факторов на верхней границе земной атмосферы.

К настоящему времени имеется несколько гипотез по поводу причинных механизмов связи погоды и климата с вариациями активности Солнца [6–8]. В частности, в [7, 8] важная роль отводится высокоэнергетическим протонам, образующимся при солнечных вспышках (протонные события). Проникая в высоких широтах до уровня тропосферы, они образуют большое количество ионов, возбужденных молекул и заряженных аэрозолей, которые в условиях перенасыщенного водяного пара ведут к образованию облачного слоя.

Кроме ситуаций с протонными событиями (которые достаточно редки), можно предположить, что при некоторых условиях вариации УФ-потока, через изменение аэрозольной оптической толщи, также могут быть одним из причинных механизмов солнечно-погодных связей. Поводом для такого предположения в определенной мере послужил известный факт, что при вариациях солнечной постоянной наибольшие изменения энергии наблюдаются именно в УФ-области спектра [6]. Данная гипотеза подтверждается и экспериментальными данными [9], где была выявлена тесная корреляция аэрозольной оптической толщи атмосферы с числами Вольфа, характеризующими солнечную активность.

Описание эксперимента

Работа проводилась в мае 2000 г. на восточной окраине г. Томска (56° с.ш.) на геофизическом стационаре Института оптического мониторинга СО РАН.

Измерения прозрачности атмосферы выполнялись с помощью автоматизированного фильтрового фотометра [10], работающего в области длин волн $\lambda = 0,44 \pm 1,06$ мкм в семи участках спектра. В качестве источника излучения использовалась светоизмерительная лампа СИРШ6-100, а приемником излучения служил фотоумножитель ФЭУ-28. Измерения проводились по схеме с отражением на базе ~ 430 м (общая длина трассы ~ 860 м). В качестве отражателя излучения в конце трассы использовался зеркальный катафот с диаметром главного зеркала 500 мм и фокусным расстоянием 1500 мм. Измерения велись с 20-секундным усреднением сигналов на каждой длине волны. Время регистрации одного спектра составляло около 5 мин. Из полученных спектров пропускания атмосферы по методике, изложенной в [10], рассчитывались спектральные коэффициенты аэрозольного ослабления $\alpha(\lambda)$. Случайная погрешность определения коэффициента ослабления при единичном измерении составляла 0,02 – 0,03 км⁻¹.

Для измерений дисперсного состава и концентрации микродисперсных частиц в атмосфере использовал-

ся диффузионный спектрометр аэрозоля, работающий в диапазоне размеров от 3 до 250 нм [11]. Отметим, что в диапазоне размеров от 201 до 250 нм спектрометр дает суммарную концентрацию частиц, которые уже могут быть отнесены к разряду субмикронных.

Для измерения напряженности электрического поля E использовался автоматизированный аппаратный комплекс [12], состоящий из струнного динамического датчика электростатического поля и блока контроля и обработки информации. Калибровка датчика осуществлялась с помощью плоского конденсатора размером 50 × 50 × 50 см с компенсацией краевых эффектов, на обкладки которого подается напряжение от калиброванного источника питания.

Регистрация потоков УФ-излучения проводилась с помощью фильтрового спектрофотометра [13] в спектральной области A с максимумом эффективной спектральной чувствительности при $\lambda = 353$ нм и с полушириной полосы 27 нм. Заметим, что в этом цикле исследований по ряду причин измерялась не полная УФ-радиация, а только ее рассеянная компонента. Однако это обстоятельство не имеет принципиального значения, поскольку при анализе данных использовались не абсолютные значения УФ-потока, а только его дневная изменчивость (дневной ход). Рассеянное излучение собиралось с направления в зенит кварцевым полушаром из телесного угла, плоский угол при вершине которого составлял 110°. Все измерения сопровождались метеонаблюдениями.

Прозрачность атмосферы измерялась круглосуточно с периодичностью 3 ч. За время одного 30-минутного цикла регистрировалось 6 спектров пропускания атмосферы, которые при обработке усреднялись (если не наблюдался выраженный временной тренд этого параметра). Измерения напряженности поля и потоков УФ-излучения проводились только в светлое время суток. Считывание данных производилось автоматически, с периодом усреднения 1 мин. При анализе данных использовались как усредненные (мгновенные) значения измеренных величин УФ-потока и E (при рассмотрении корреляционной связи между ними для данного дня), так и усредненные за 30 мин для каждого часа (для построения дневного хода этих величин).

Следует заметить, что во время проведения этого цикла исследований в регионе преобладала облачная погода, вследствие чего нам не удалось получить большого массива синхронно измеренных параметров для малооблачных условий. Тем не менее даже предварительные результаты этих исследований в рамках рассматриваемой задачи представляют определенный интерес.

Результаты измерений и их интерпретация

Всего за период измерений был получен массив данных, насчитывающий порядка 140 усредненных почасовых значений УФ-потока, более 300 значений напряженности поля и около 100 реализаций усредненных спектров аэрозольного ослабления. При этом

температура воздуха t изменялась от -2 до $+26$ °С, относительная влажность (RH) от 25 до 100%, напряженность электрического поля E от -8 до $+270$ В/м, интенсивность рассеянного УФ-потока (Φ_A) от 0,3 до 3 мВт/(м²·нм), коэффициент аэрозольного ослабления $\alpha(0,56)$ от 0,04 до 0,28 км⁻¹, что соответствует изменению дальности видимости в атмосфере от 97 до 14 км. Средние значения этих параметров и их среднеквадратические отклонения (СКО) в период измерений приведены в таблице. Поскольку электрическое поле и УФ-радиация измерялись практически каждую минуту в течение дня, то представляло интерес посмотреть их взаимную изменчивость в различных погодных условиях.

Средние значения и среднеквадратические отклонения параметров: $\alpha(0,56)$, RH , t , E и Φ_A для общего массива данных

Статистический параметр	Измеряемая величина				
	$\alpha(0,56)$, км ⁻¹	RH , %	t , °С	E , В/м	Φ_A , мВт/(м ² ·нм)
Среднее значение	0,138	59	11,15	114,16	1,325
СКО	$\pm 0,046$	$\pm 23,26$	$\pm 7,01$	$\pm 48,48$	$\pm 0,714$

На рис. 1 приведена взаимосвязь между мгновенными значениями интенсивности рассеянной УФ-радиации и напряженности электрического поля, полученными в малооблачный день (рис. 1,а) и в день при сплошной облачности (рис. 1,б).

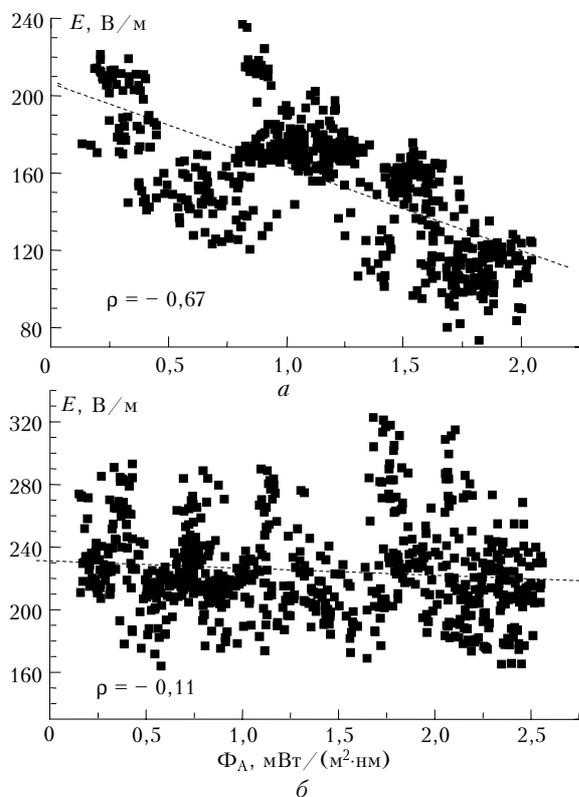


Рис. 1. Корреляционная связь между напряженностью поля и интенсивностью рассеянного УФ-излучения в малооблачный день (а) и при сплошной облачности (б); ρ – коэффициент корреляции

Как видно из рис. 1, при малооблачной погоде между этими параметрами имеется значимая отрицательная связь, т.е. с увеличением УФ-потока напряженность электрического поля падает. Это однозначно указывает на то, что при хорошей погоде УФ-радиация Солнца каким-то образом оказывает влияние на увеличение проводимости воздуха и, следовательно, на рост числа легких ионов в атмосфере [14]. При сплошной облачности эта связь практически полностью разрушается.

Отрицательная взаимосвязь параметров Φ_A и E в условиях малооблачной погоды наглядно видна и из характера дневной изменчивости усредненных значений интенсивности рассеянной УФ-радиации и напряженности электрического поля, полученных 26 мая и представленных на рис. 2.

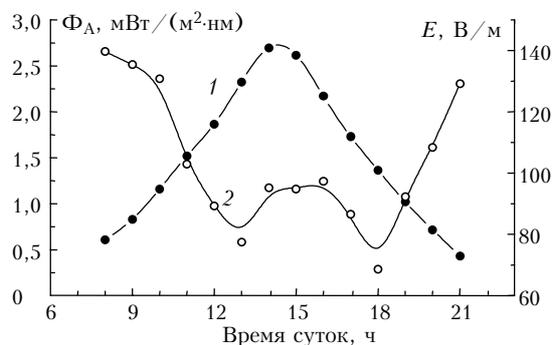


Рис. 2. Дневной ход интенсивности рассеянного УФ-излучения (1) и напряженности атмосферного электрического поля (2) в малооблачный день

Из рис. 2 видно, что утром с ростом УФ-потока напряженность поля заметно уменьшается, днем наблюдаются два минимума в 13 и 18 ч, а вечером (после 18 ч) напряженность поля вновь возрастает.

Анализ имеющихся работ по атмосферному электричеству показывает, что выявленный в данной работе характер дневной изменчивости напряженности электрического поля согласуется с суточным ходом E , полученным ранее для континентальных станций [15]. Характерными для него являются высокое значение напряженности поля утром, пониженное значение в течение дня и вновь рост значений в вечернее время.

Следовательно, из сопоставления дневной изменчивости напряженности поля и потока УФ-излучения можно предположить, что в течение дня действует связанный с УФ-излучением источник образования легких ионов нанометрового размера, дающих, как известно [16], основной вклад в проводимость воздуха. Непосредственно УФ-излучение с $\lambda > 300$ нм не может создавать ионизацию в молекулярной среде, поскольку потенциалы ионизации основных и примесных молекул атмосферы лежат в более коротковолновой области ультрафиолета, не достигающей поверхности Земли из-за поглощения озоном.

Известно, что УФ-В-область ($280 < \lambda < 315$ нм) достигает тропосферы и оказывает существенное влияние на протекание фотохимических процессов, которые особенно активно идут при наличии в тропосфере

антропогенных выбросов, окислов азота, серы и различных органических соединений. В результате в тропосфере возникают вторичные газовые загрязнения [17], которые при наличии органических соединений образуют аэрозольные частицы [18, 19].

Как показано в экспериментальной работе [20], в городской атмосфере солнечное УФ-излучение за счет гетерогенных фотохимических реакций приводит к одновременной перестройке размеров и состава всех фракций аэрозоля. Это происходит вследствие накопления органического материала на частицах. Причем процесс идет как в ясные, так и в пасмурные дни, и его интенсивность сильно зависит от интенсивности солнечного света. В результате деформируется не только спектр размеров частиц, но меняются и их спектры поглощения в УФ-области. В работах [20, 21] показано, что образование высокодисперсного ($r_{cp} \sim 50$ нм) аэрозоля наблюдалось, когда поток очищенного воздуха, содержащего добавки альдегидов, облучался УФ-излучением ртутной лампы, причем измеренная с помощью счетчика аэрозолей концентрация частиц составляла $\sim 10^6$ см $^{-3}$, а в случае добавки бензальдегида образовавшееся вещество аэрозоля обладало способностью поглощать свет в области 306–328 нм.

Согласно [22] комплексы фенол – (H $_2$ O) $_n$ при изменении n от 1 до 12 обнаруживают тенденцию к снижению потенциала ионизации. Возможно, что в процессе комплексообразования образуются кластеры, потенциал ионизации которых меньше 4,13 эВ ($\lambda > 300$ нм). По-видимому, именно органические добавки, появляющиеся в ходе гомогенных и гетерогенных реакций, могут рассматриваться как агенты ионообразования под действием либо УФ-излучения, либо естественной радиоактивности почвы и воздуха.

Далее рассмотрим особенности дневного хода усредненных значений различных параметров, полученных в данном эксперименте. Кроме потока УФ-радиации Φ_A и напряженности электрического поля E сюда относятся: аэрозольное ослабление оптического излучения, связанное в основном с субмикронной фракцией частиц, $-\Delta\alpha(0,44) = \alpha(0,44) - \alpha(1,06)$; концентрация микродисперсного аэрозоля $N_{мд}$ (в диапазоне от 3 до 200 нм) и относительная влажность воздуха RH .

Оказалось, что при сплошной облачности характер усредненного дневного хода рассеянной УФ-радиации практически не отличается от малооблачных условий, в то время как дневной ход напряженности поля может заметно меняться. Так, на рис. 3 представлены дневные ходы усредненных значений Φ_A и E , а также $\Delta\alpha(0,44)$, $N_{мд}$ и RH за 24 мая при сплошной облачности.

Видно, что дневной ход электрического поля здесь имеет только один минимум, приходящийся на 14 ч. Тем не менее общая закономерность отрицательной взаимосвязи между Φ_A и E остается. Изменения параметра $\Delta\alpha(0,44)$ в первой половине дня выражены очень слабо, а после 18 ч происходит его значительный рост.

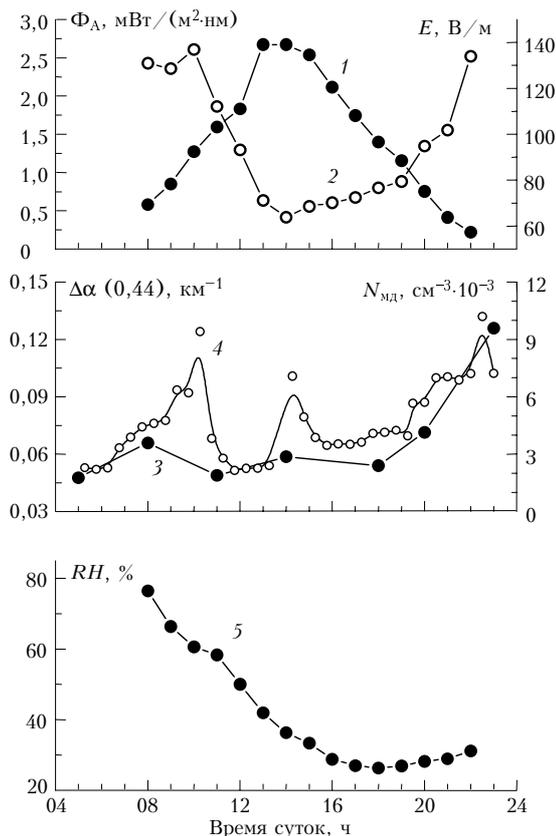


Рис. 3. Дневной ход интенсивности рассеянного УФ-излучения (кривая 1); напряженности электрического поля (2); субмикронной компоненты аэрозольного ослабления (3); концентрации микродисперсного аэрозоля (4) и относительной влажности воздуха (5)

Динамика концентрации микродисперсных частиц в течение дня достаточно сильная с перепадом от 2000 см $^{-3}$ (утром) до 10000 см $^{-3}$ (вечером), с выраженным максимумом в 10 ч на активном участке роста интенсивности УФ-потока. Обращает на себя внимание некоторая общность тенденций в дневном ходе субмикронной компоненты аэрозольного ослабления и концентрации микродисперсных частиц. Дать однозначную физическую интерпретацию этому обстоятельству затруднительно, поскольку непосредственно (через рассеяние) частицы размером в несколько десятков нанометров в видимом диапазоне длин волн не видны. Можно еще отметить согласованность временного хода $\Delta\alpha(0,44)$ и E в вечернее время.

В условиях переменной облачности (рис. 4) дневной ход напряженности электрического поля имеет два максимума – в 11 и 20 ч и один минимум в 14 ч.

Дневной ход субмикронной компоненты аэрозольного ослабления $\Delta\alpha(0,44)$ характеризуется хорошо выраженным широким минимумом, приходящимся на 15–16 ч, что мало соответствует дневному ходу напряженности электрического поля. Характерно, что дневная изменчивость концентрации микродисперсных частиц в этот день, так же как и при сплошной облачности, довольно хорошо повторяет дневной ход аэрозольного ослабления в коротковолновой области спектра.

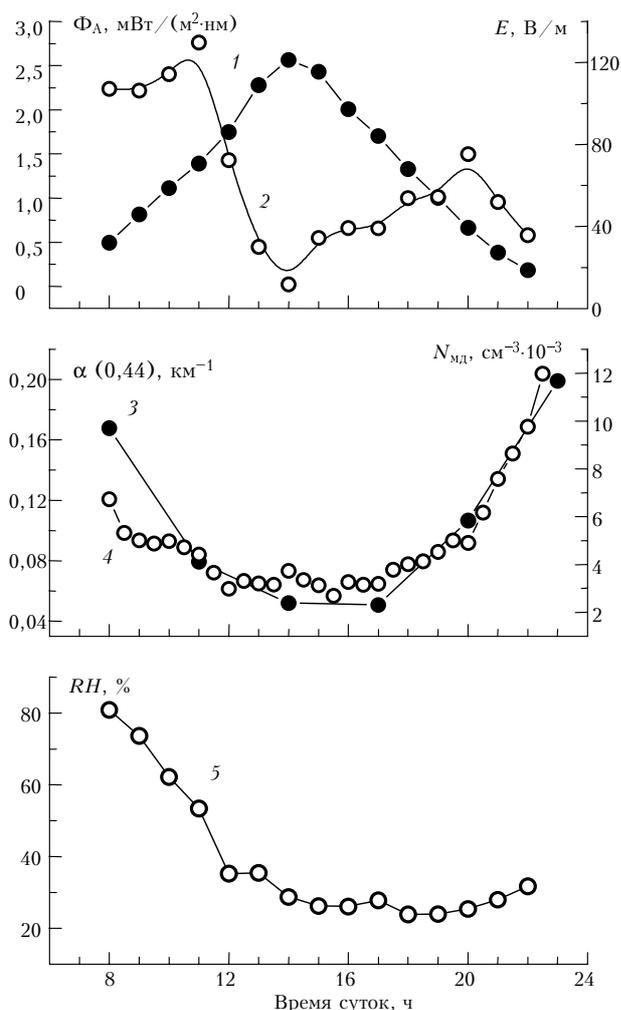


Рис. 4. Дневной ход интенсивности рассеянного УФ-излучения (кривая 1); напряженности электрического поля (2); субмикронной компоненты аэрозольного ослабления (3); концентрации микродисперсного аэрозоля (4) и относительной влажности воздуха (5) при переменной облачности (21 мая, облачность от 3 до 10 баллов)

Наконец, на рис. 5 приведены дневные ходы обсуждаемых величин для безоблачного дня (1 мая). Видно, что напряженность электрического поля здесь имеет утренний и вечерний максимумы и один дневной минимум в 14 ч. Сопоставление временного хода концентрации микродисперсных частиц и коэффициента аэрозольного ослабления $\alpha(0,44)$ на временном отрезке от 15 до 23 ч (измерения аэрозольного ослабления в этот день были начаты только в 15 ч), так же как и на предыдущих рисунках, указывает на общие тенденции в их изменчивости. Однако самой яркой особенностью этого дня является наличие хорошо выраженной положительной взаимосвязи между интенсивностью УФ-потока и концентрацией микродисперсного аэрозоля, которая проявляется на фоне довольно низкой относительной влажности воздуха (< 60%). Этот результат представляется чрезвычайно важным с точки зрения высказанной выше гипотезы о влиянии УФ-радиации Солнца на генерацию субмикронного аэрозоля.

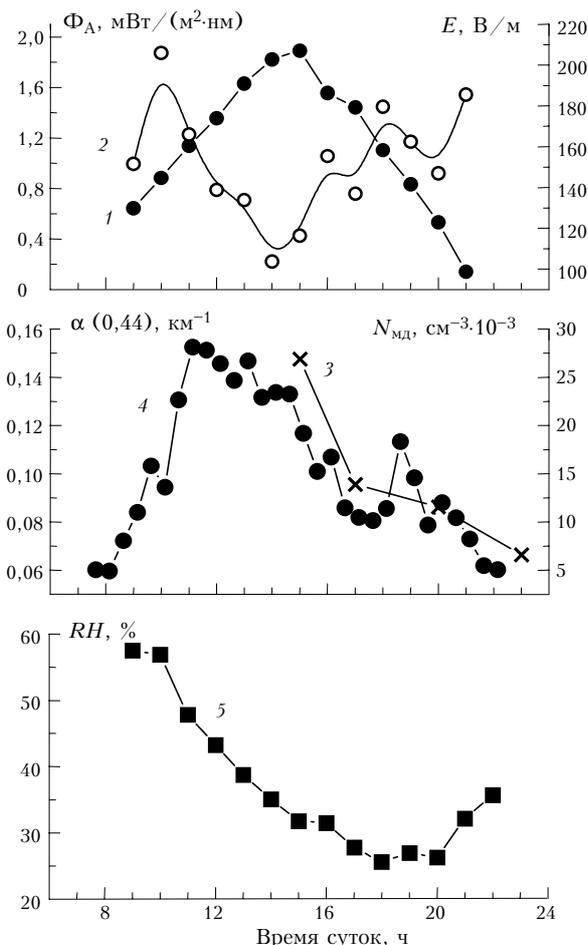


Рис. 5. Дневной ход интенсивности рассеянного УФ-излучения (кривая 1); напряженности электрического поля (2); субмикронной компоненты аэрозольного ослабления (3); концентрации микродисперсного аэрозоля (4) и относительной влажности воздуха (5)

В этой связи интересно проследить временную динамику спектра размеров и концентрации микродисперсных частиц, представленную на рис. 6 для временного отрезка с 10 до 16 ч.

Из приведенных данных следует, что к 10 ч утра в атмосфере сформировалась фракция частиц с максимумом (по диаметру) в районе 12 – 13 нм и с концентрацией около 4000 см⁻³. В 11 ч максимум распределения сместился в район 15 нм, а концентрация частиц возросла до 9000 см⁻³. В 12 ч максимум распределения оказался уже на 20 нм, но концентрация частиц при этом уменьшилась до 8000 см⁻³. В 13 ч продолжается незначительный рост частиц при неизменной концентрации, а в 14 ч спектр частиц заметно расширяется, максимум сдвигается в область 25 нм, а концентрация падает до 6000 см⁻³. В 15 и 16 ч продолжается тенденция роста частиц с одновременным расширением спектра размеров и уменьшения концентрации. Так, к 16 ч максимум распределения находился уже на 35 – 40 нм при концентрации менее 4000 см⁻³.

Обнаруженные закономерности в дневной изменчивости спектра размеров и концентрации микродисперсных частиц в условиях безоблачной погоды

однозначно свидетельствуют о влиянии УФ-излучения Солнца на процесс генерации атмосферного аэрозоля.

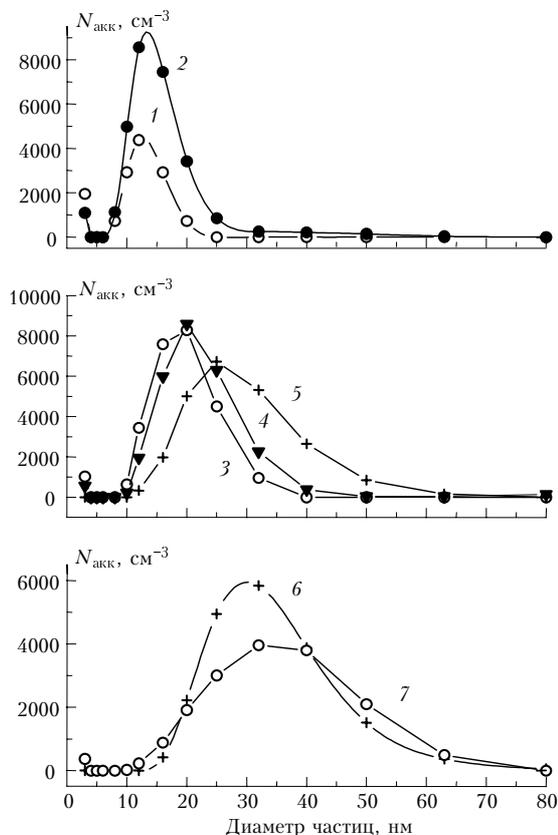


Рис. 6. Дневная динамика спектра размеров и концентрации микродисперсных частиц при безоблачном небе (1 мая). Кривые 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 получены в 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 ч соответственно

Заключение

На основе анализа одновременно измеренных спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в приземных дымках, дисперсного состава и концентрации частиц нанометрового размера, напряженности атмосферного электрического поля и интенсивности потока УФ-радиации Солнца ($\lambda = 353$ нм) выявлено, что при малооблачной погоде с увеличением УФ-потока напряженность электрического поля падает. При этом коэффициент корреляции ρ между указанными параметрами составляет $-0,67$. Сделано предположение, что в течение дня под воздействием УФ-излучения при наличии в тропосфере органических загрязнений идет образование легких ионов нанометрового размера, дающих основной вклад в проводимость воздуха. Предполагается, что вследствие накопления органического материала на частицах у них значительно снижается потенциал ионизации.

Выявлено также, что в безоблачный день наблюдается хорошо выраженная положительная взаимосвязь между интенсивностью УФ-потока и концентрацией микродисперсного аэрозоля. Проанализирована времен-

ная динамика спектра размеров и концентрации микродисперсных частиц. Показано, что в течение дня под воздействием УФ-излучения идет постепенный рост частиц аэрозоля, изменяется их концентрация и увеличивается ширина распределения.

В целом полученные результаты показали, что поставленные нами вопросы относительно влияния УФ-излучения Солнца и напряженности электрического поля на оптические свойства аэрозольной атмосферы хоть и были сформулированы достаточно умозрительно, но имеют вполне реальные основания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 99-05-64564А и 01-05-65197).

1. Тарасова Т.А., Фейгельсон Е.М. Влияние тропосферного аэрозоля на интегральное альbedo системы атмосфера – подстилающая поверхность // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1982. Т. 18. № 11. С. 1199 – 1206.
2. Панченко М.В., Терпугова С.А., Полькин В.В. Эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 615–624.
3. Розенберг Г.В., Горчаков Г.И., Георгиевский Ю.С., Любовцева Ю.С. Оптические параметры атмосферного аэрозоля // Физика атмосферы и проблемы климата. М.: Наука, 1980. С. 216–257.
4. Розенберг Г.В. Тонкодисперсный аэрозоль и климат // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1982. Т. 18. № 11. С. 1192–1198.
5. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Овчаренко Е.В. Исследование корреляционных связей аэрозольного ослабления оптического излучения с напряженностью атмосферного электрического поля // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 2. С. 105–108.
6. Солнечно-земные связи, погода и климат / Под ред. Б. Мак-Кормака и Т. Селиги. М.: Мир, 1982. 382 с.
7. 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.
8. Ивлев Л.С., Хворостовский С.Н. Исследование воздействия космического излучения на микроструктурные параметры и оптические свойства нижней атмосферы в средних и высоких широтах. 2. Гетерогенные процессы при воздействии потоков высокоэнергетических частиц // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 12. С. 1081–1086.
9. Ролдугин В.К., Старков Г.В. Изменение прозрачности атмосферы в 11-летнем цикле солнечной активности // Докл. РАН. 2000. Т. 370. № 5. С. 675–677.
10. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н. Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности приземной атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 667–671.
11. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 627–630.
12. Донченко В.А., Кабанов М.В., Калайда В.Т., Кулаков Ю.Н., Овчаренко Е.В. Мониторинг электромагнитных полей. II. Флуктуации параметров атмосферного электричества // Изв. вузов. Физ. 1998. № 5. С. 88–98.

13. Елисеев А.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Колесник А.Г., Раводина О.В., Редькина Н.В., Теодорович З.С. Исследования ультрафиолетовой радиации Солнца на поверхности земли // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 5. С. 572–576.
14. Смирнов В.В. Электрические факторы чистоты воздуха // Труды ИЭМ. 1983. Вып. 30 (104). С. 64–106.
15. Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физ. наук. Т. LXXVI. Вып. 4. 1962. С. 593–642.
16. Смирнов В.В. Ионизация тропосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 311 с.
17. Garvert J.G. The «Chemistry of the Polluted Troposphere. Proc. NATO Adv. Study Inst., Island of Corfu, Sept. 28–Oct. 10, 1981». Dordrecht e. a., 1982. P. 425–456.
18. Ивлев Л.С. Гетерогенная химия нижней атмосферы // Проблемы физики атмосферы. Вып. 20. СПб.: Изд-во СПб.ГУ, 1997. С. 54–80.
19. Duce R.A., Mohnen V.A., Zimmerman P.R., Grosjean D., Cantrells W., Chotfield R., Janicke R., Ogren J.A., Pellizzare T.D., Wallace G.T. Organic material in the Global Troposphere // Rev. Geophys. and Space Phys. 1983. V. 21. № 4. P. 921–952.
20. Скубневская Г.И., Дульцова Г.Г. Идентификация свободных радикалов и аэрозольных продуктов при фотонуклеации триэтиламина и бензальдегида // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 6. С. 693–699.
21. Скубневская Г.И., Дульцова Г.Г., Дубов С.Н. Простейшие альдегиды – действенные предшественники атмосферных фотоаэрозолей // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 608–611.
22. Kleinermanns K., Janzen C., Spanbenberg D. Infrared Spectroscopy of Regonantly Ionized (Phenol) (H₂O)_n // J. Phys. Chem. A. 1999. V. 103. № 27. P. 5232–5239.

Yu.A. Pkhalagov, I.I. Ippolitov, V.N. Uzhegov, A.V. Buldakov, M.Yu. Arshinov. Study of interrelation between UV flux, electric field intensity, and optical-microphysical characteristics of the ground atmospheric layer.

Tentative experimental results on relation between the intensity of the scattered UV solar radiation, intensity of electric field, submicron component of the optical radiation aerosol attenuation, and concentration of particles of microdispersion range in the ground atmospheric layer are considered. Significant negative relation between variations of the UV flux and the electric field intensity was found (coefficient of correlation $r = -0.67$), which breaks down in conditions of full cloudiness. It was also discovered that in conditions of cloudless sky, during the day under exposure to UV radiation, the size of the microdispersion particles gradually increases, their concentration changes, and the distribution width strongly grows.