

А.А. Кречетов¹, В.А. Загайнов³, В.А. Оболкин², Ю.В. Шаманский¹

Некоторые результаты совместных наблюдений за изменчивостью электрического поля атмосферы и концентрации аэрозоля на юге Байкала

¹Иркутский госуниверситет,

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

³Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, г. Москва

Поступила в редакцию 14.02.2006 г.

Рассматриваются результаты длительных синхронных наблюдений за напряженностью электрического поля атмосферы, концентрацией субмикронного аэрозоля и метеорологическими условиями с большим временным разрешением (минуты). С помощью корреляционного и спектрального анализа рядов наблюдений исследуются взаимосвязи между аэрозолем и электрическим полем атмосферы, и высказываются гипотезы о возможных механизмах их взаимодействия. Приводится осредненный суточный ход рассматриваемых характеристик.

Введение

Электрическое поле атмосферы является одной из важных характеристик воздушной среды и тесно взаимосвязано со многими метеорологическими процессами, а также с характером аэрозольных примесей. В частности, потенциал электрического поля атмосферы существенно зависит от концентрации заряженных частиц в атмосфере, которые могут иметь самое различное происхождение.

Известно, что увеличение концентрации пылевых частиц, как правило нейтральных, приводит к уменьшению доли легких ионов и к снижению электрической проводимости воздуха. Вследствие этого напряженность электрического поля должна увеличиваться. С другой стороны, часть аэрозоля под влиянием электризации при соударениях, контактах и дроблении может получать электрический заряд. Заряджение атмосферного аэрозоля в естественных условиях происходит также за счет прилипания атмосферных ионов, образующихся в процессах ионизации атмосферных газов.

Исследования, проведенные в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, указывают на то, что в период активных испытаний ядерных устройств напряженность электрического поля и электрическая проводимость воздуха существенно изменялись в районах, на тысячи километров удаленных от мест испытаний. Наблюдения за атмосферными выпадениями, проводимыми в системе Росгидромет, говорят о содержании радионуклидов в аэрозолях.

В условиях промышленного загрязнения аэрозоли могут приобретать заряд, например под действием устройств очистки выбросов электрофильтрами [1]. Поэтому в процессе переноса аэрозоля в атмосфере он должен оказывать определенное

влияние на электрическое поле. В то же время в электрическом поле заряженные частицы испытывают воздействие кулоновских сил и поэтому аэрозоли, имеющие электрический заряд, будут перемещаться в направлении силовых линий электрического поля. Кулоновские силы при некоторых метеорологических ситуациях могут по значимости быть основными в процессе перемещения заряженных частиц, например при отсутствии сильного турбулентного перемешивания. Процессы конденсационного и коагуляционного роста облачных частиц, имеющих электрический заряд, и механизмы заряджения частиц в ионизированной среде и в электрическом поле достаточно хорошо изучены.

Механизмам электрической зарядки аэрозоля и взаимодействия аэрозоля с электрическим полем посвящены ряд работ теоретического характера и лабораторные исследования, обсуждавшиеся на конференциях разных рангов [2–4]. В естественных условиях подобные работы проводились реже, и здесь следует отметить исследования, основанные на связи электрического поля с ослаблением лучистой энергии в атмосфере [5, 6].

В данной статье обсуждаются результаты совместной регистрации концентрации приземного аэрозоля, напряженности электрического поля и метеорологических характеристик в сравнительно чистом от промышленного загрязнения районе: побережье Южного Байкала.

Район работ и методы измерений

Наблюдения за концентрацией приземного аэрозоля и напряженностью электрического поля атмосферы проводились на Байкале вблизи пос. Листвянка на территории Байкальской астрофизической

обсерватории (БАО) ИСЗФ СО РАН. Высота расположения пункта составляла около 220 м над уровнем Байкала. Аэрозольный воздухозаборник находился на высоте 2 м от поверхности земли. Непрерывная регистрация счетной концентрации аэрозоля велась с помощью комплекса, включающего лазерный и диффузионный аэрозольный спектрометры (с конденсационным укрупнением частиц), разработки Московского научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова [7].

Комплекс позволяет охватить широкий диапазон размеров частиц, включая высокодисперсный и субмикронный участки, примерно до 5–10 мкм (верхняя граница размеров частиц четко не определена, так как заборник представлял собой обычную перевернутую воронку, без сепаратора). На первом этапе нами для сравнения с электрическим полем атмосферы были привлечены данные в основном по концентрации субмикронного аэрозоля. В дальнейшем, после обработки и анализа всех данных по спектральному составу аэрозоля, планируется более детальный анализ взаимосвязей между электрическим полем атмосферы и физическими характеристиками аэрозоля.

Напряженность электрического поля измерялась электростатическим флюксометром, который размещался на высоте 2,5 м на ровной металлической крыше. Для сравнительных наблюдений в течение недели был установлен второй флюксометр на земной поверхности (рядом с первым), а затем он был перенесен на 1,5 км от пункта регистрации в глубоко врезанную долину р. Черемшанка на расстоянии около 200 м от побережья Байкала и на возвышении около 15 м над урезом воды. Здесь флюксометр был установлен на высоте 2 м на металлической сетке, выравнивающей электрическое поле. Регистрация всех параметров в первом пункте производилась через АЦП на компьютер, а во втором – на автономный цифровой регистратор с периодом осреднения 10 мин. Общий период совместной регистрации равнялся 3 мес (август–октябрь 2005 г.).

Метеорологические параметры атмосферы (скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление) в районе исследований регистрировались с помощью ультразвуковой метеостанции (Институт оптики атмосферы – «Метео-2»). Регистрировалась также интенсивность суммарной солнечной радиации, позволяющая косвенно судить об облачности в период наблюдений.

Обсуждение полученных результатов

На рис. 1 приведены осредненные за весь период суточные вариации концентрации аэрозоля N ,

напряженности электрического поля на БАО $E_{\text{БАО}}$, скорости ветра V и относительной влажности Hu . Суточные вариации хода $E_{\text{БАО}}$ и $E_{\text{дол}}$ приведены в таблице. Суточный ход E построен по всем значениям, включая условия нарушенной погоды, когда могут отмечаться отрицательные значения. Суточный ход $E_{\text{БАО}}$ по амплитуде превышает амплитуду концентрации аэрозоля, влажности и скорости ветра и составляет около 60%.

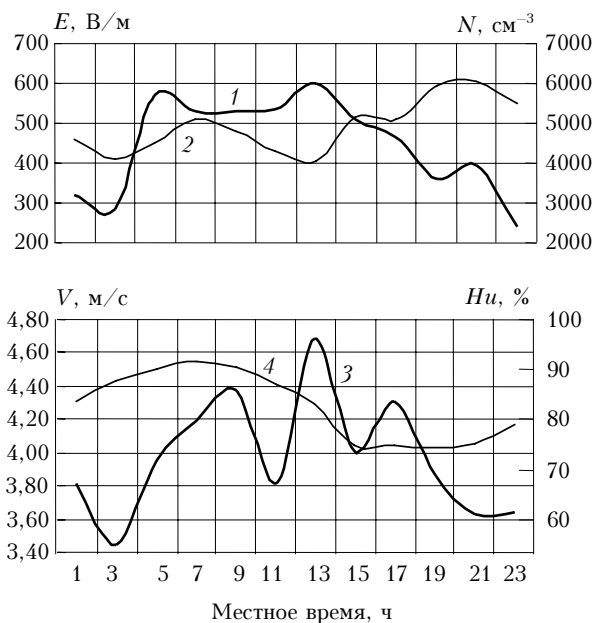


Рис. 1. Средний суточный ход напряженности электрического поля (1), концентрации аэрозоля (2), относительной влажности (4) и скорости ветра (3)

Электрическое поле отражает электрический заряд всего столба атмосферы и электрических зарядов вблизи поверхности, а метеорологические условия и концентрация аэрозоля – приземные характеристики. Первый максимум в утренние часы совпадает с глобальным (вечерние часы по Гринвичу). В ночные часы в суточном ходе проявляется синхронность вариаций $E_{\text{БАО}}$ и N , а после полудня изменения проходят в противофазе.

Корреляционный анализ среднечасовых значений указывает на положительную связь между скоростью ветра и концентрацией аэрозоля (коэффициент корреляции 0,48). Коэффициент корреляции между напряженностью поля и концентрацией аэрозоля – отрицательный ($r = -0,47$). Коэффициенты корреляции значимы и получены по длине рядов около 1000 ч совместной регистрации для осеннего периода. Возможно, в другие сезоны года характер связи может быть иным.

Нормированные среднесуточные вариации E по наблюдениям на обсерватории и в долине

Местное время, ч	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
$E_{\text{БАО}}$	0,7	0,6	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,1	1,0	0,8	0,9	0,5
$E_{\text{дол}}$	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	1,1	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0

Интересно отметить, что кросскорреляционный анализ по среднечасовым значениям для высокодисперсного аэрозоля (от 3 нм) не имеет сдвига по времени, в то время как для кросскорреляционных функций более крупного аэрозоля (от 0,15 мкм) отмечается запаздывание концентрации относительно E на время около 2–3 ч. Ранее нами по измерениям в Иркутской гидрометеорологической обсерватории была получена обратная связь между среднемесячными значениями E и концентрацией пыли в воздухе [8]. Концентрация пыли при этом определялась стандартным методом — отбором на фильтр.

Результаты регистрации указывает на то, что большинство изменений E и N происходят в противофазе.

На рис. 2 приведен пример совместной регистрации в течение 15–22 сентября E и N (сумма высокодисперсного и субмикронного аэрозоля).

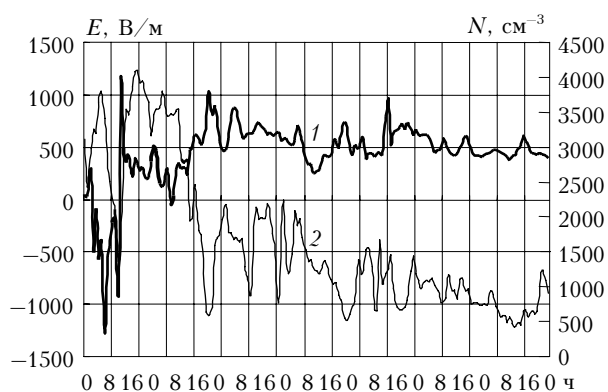


Рис. 2. Фрагмент записи напряжённости поля (1) и общей концентрации высокодисперсного и субмикронного аэрозоля (2) в период 15–22 сентября 2005 г.

В первую половину суток (15 сентября) отмечались осадки и электрическое поле было отрицательно. Первые 5 ч концентрация аэрозоля увеличивалась, затем, видимо из-за вымывания аэрозоля, она уменьшалась. Прекращение дождя сопровождалось переходом поля в область положительных значений и ростом числа частиц аэрозоля. В условиях установившейся погоды (после 17 ч) количество частиц аэрозоля и электрическое поле изменялись в противофазе.

Вопрос о физических механизмах связей достаточно сложный. Связь может быть как прямой, так и опосредствованной через различные метеорологические факторы. Существующие классические представления указывают, что с ростом содержания аэрозолей в атмосфере и, следовательно, с уменьшением концентрации легких ионов должна расти и напряженность электрического поля. Объяснить противофазность вариаций $E_{\text{БАО}}$ и N можно рядом причин. Возможно, что аэрозоль обладает некоторой радиоактивностью и поэтому способен ионизовать воздух. По данным геологов, район Предбайкалья характеризуется повышенным выходом почвенного радона, концентрация которого связана с метеорологическими условиями.

Второе объяснение — это проявление электродного эффекта: т.е. с ростом концентрации аэрозоля уменьшается количество положительных ионов у поверхности земли либо увеличивается толщина электродного слоя. Можно также предположить, что изменение E приводит к перемещению приземного аэрозоля, имеющего электрический заряд. Ответить на эти вопросы можно после проведения комплексных измерений электрических характеристик (регистрировать дополнительно проводимость и объемный заряд или проводить измерение E разнесенными по вертикали и горизонтали приборами).

О характере проявления объемного заряда в условиях хорошей погоды можно судить по фрагменту записи E на уровне земли и на высоте 2,5 м за 26–27 августа (рис. 3).

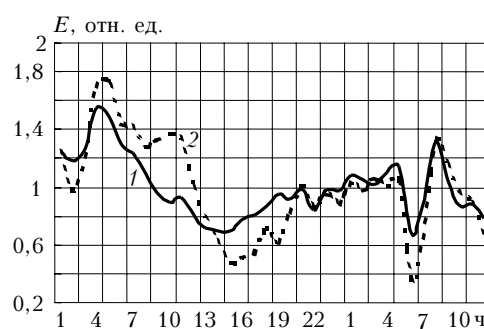


Рис. 3. Пример изменения E у поверхности земли (кривая 1) и на высоте 2,5 м (2) в течение 36 ч

По ходу кривых видно, что с 5 до 13 ч у поверхности земли значения E ниже приблизительно на 20%. После полудня происходит более значительное увеличение E у земли по сравнению с уровнем 2,5 м. В вечерние и ночные часы различие в вариациях E уменьшается. Возможно, что различия в вариациях E на разных высотах связаны с суточным ходом выхода из почвы радона, ионизирующего воздух.

Регистрация напряженности электрического поля в долине (ниже первого пункта на 200 м) показала существенное отличие в характере суточных изменений E . В условиях хорошей погоды суточный ход E в долине в течение периода совместной регистрации характеризовался довольно простой волной с максимумом в дневные часы и минимумом в ночные. Причем особенность суточного хода состоит в том, что рост и падение напряженности совпадают с суточным ходом освещения солнцем долины: освещение дна долины начинается в 11–12 ч, а в 17–18 ч солнце закрывается другим склоном и в соответствии с этим происходят рост и падение электрического поля. Подобный характер суточного хода нами отмечается впервые и пока не имеет объяснения.

В период нарушенной погоды (сильный ветер, облачность, осадки) характер вариаций на обоих пунктах регистрации E мало отличается. Моменты перехода поля в область отрицательных значений, амплитуды и периоды вариаций подобны. Повидимому, причина резкого отличия суточных

изменений $E_{\text{БАО}}$ и $E_{\text{дол}}$ наблюдений на малом удалении пунктов друг от друга определяется различием высот расположения пунктов, закрытостью долины крутыми склонами (и, соответственно, отличием метеоусловий), и возможно, особенностями влияния электродного эффекта.

Для исследования связи вариаций электрического поля и концентрации аэрозоля проведен спектральный и кроспектральный анализ по среднечасовым значениям. Для электрического поля характерны в спектре составляющие с периодом 3–5 ч и суточные. Для вариаций концентрации аэрозоля наиболее характерны 3–5-часовые и полусуточные составляющие в спектре.

Заключение

Предварительный анализ данных выявил дополнительные проблемы исследования связи электрического поля и содержания аэрозолей в атмосфере.

Труднообъяснимой является обратная зависимость среднечасовых значений E и N . Решение проблемы возможно при синхронном проведении комплексных измерений электрических характеристик: напряженности электрического поля, электрической проводимости воздуха или плотности объемного электрического заряда, концентрации аэрозоля и метеорологических характеристик.

Работа частично поддержана грантом ISTC № 1908.

1. *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.
2. *Проблемы электричества атмосферы* // Тр. III Международ. конф. по электричеству атмосферы и космического пространства. Л.: Гидрометеониздат, 1969. 362 с.
3. *Атмосферное электричество* // Тр. III Всесоюз. симпоз. по атмосферному электричеству. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 288 с.
4. *Шварц Я.М.* Электропроводность воздуха и аэрозоль // Тр. ГГО. Л.: Гидрометеониздат, 1980. Вып. 401. С. 136–140.
5. *Донченко В.А., Кабанов М.В., Кулаков Ю.И., Овчаренко Е.В., Пхалагов Ю.А., Соковец И.Г., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н.* Сопряженность электрических и оптических параметров в аэрозольной атмосфере // Сб. науч. трудов Пятой Российской конф. по атмосферному электричеству. Владимир, 2003. С. 87–89.
6. *Пак В.В., Теодорович З.С., Кулаков Ю.И., Булдаков А.В., Ипполитов И.И., Смирнов С.И.* К вопросу о взаимосвязи между напряженностью электрического поля атмосферы и УФ-освещенностью // Сб. науч. трудов Пятой Российской конф. по атмосферному электричеству. Владимир, 2003. С. 90–92.
7. *Загайнов В.А., Лушиков А.А., Никитин О.Н., Кравченко П.Е., Ходжер Т.В., Петрянов-Соколов И.В.* Фоновый аэрозоль над Байкалом // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308. № 5. С. 1087–1090.
8. *Шаманский Ю.В.* Зависимость напряженности электрического поля атмосферы в Иркутске от аэрозольного загрязнения // *Оптика атмосфер. и океана.* 2003. Т. 16. № 7. С. 648–651.

A.A. Krechetov, V.A. Zagaynov, V.A. Obolkin, Yu.V. Shamanskii. **Some results of joint observation for variability of electric field of the atmosphere and aerosol concentration at the South Baikal.**

Results of long time synchronous observations for electric field of the atmosphere, concentration of sub-micron aerosols, and meteorological conditions are considered with high time resolution (minutes). Correlation and spectral analyses were applied to evaluation of aerosols and electric field interrelation; and some hypotheses on the mechanism of their interaction are discussed. The mean daily changes of considered parameters are obtained.