

# Вариации метеорологических и атмосферно-электрических величин в дымах от мощных лесных пожаров

НАГОРСКИЙ П.М.<sup>1</sup>, ИПОЛИТОВ И.И.<sup>1</sup>, КАБАНОВ М.В.<sup>1</sup>, ПХАЛАГОВ Ю.А.<sup>2</sup>,  
СМИРНОВ С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия

npm\_sta@mail.ru

## Введение

Известно, что тропосферный аэрозоль наряду с парниковыми газами является важным климатообразующим фактором, влияющим на радиационный баланс Земли [1, 2]. Экстремальные погодные условия, сложившиеся в летний период на территории европейской части России в 2002 и 2010 гг. и на территории Западной и Восточной Сибири в 2004 и 2012 гг. привели к появлению большого количества лесных и торфяных пожаров, сопровождавшихся сильнейшим задымлением атмосферы.

При лесных пожарах в Томской области в мае 2004 году было обнаружено следующее. С усилением задымления (с увеличением концентрации дымовых частиц) напряженность электрического поля в приземном слое уменьшилась с  $\sim 200$  до 30-60 В/м [3]. Эти исследования были проведены в условиях летнего дымового смога средней плотности (дальность видимости  $\sim 7-8$  км) и при суточном усреднении данных по напряженности поля.

Детальные исследования вариаций электрических и метеорологических величин приземной атмосферы были проведены при длительных лесных пожарах летом 2012 года.

## Методика и условия проведения эксперимента

Эксперимент по исследованию вариаций атмосферно-электрических параметров в приземном слое дымового шлейфа от лесных пожаров проводился на территории Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН в рамках комплексного мониторинга метеорологических и актинометрических величин, а также УФ-радиации и естественной радиоактивности. Измерения напряженности электрического поля проводились с помощью стационарного электрического флюксметра "Поле-2 а измерения полярных проводимостей (отрицательной и положительной) проводились с помощью прибора "Электропроводность-2 размещенного на крыше рядом стоящего здания (на высоте 20 м). Специальные метеорологические наблюдения проводились с помощью ультразвукового термоанемометра АМК-03 [4], обеспечивающего регистрацию основных метеорологических характеристик приземной атмосферы (температура, давление, влажность), а также турбулентных характеристик приземного слоя. В числе других регистрируемых величин были: приходящая солнечная радиация в видимом и в 5-ти полосах ультрафиолетового диапазона, метеорологическая дальность видимости (использованы данные Томской метеостанции Росгидромета, находящейся в 1,2 км [<http://rp5.ru>]).

## Экспериментальные данные

Лесные пожары 2012 года в Сибири продолжались с июня по август 2012 года. Динамика вариаций электрического поля и некоторых метеорологических величин при их суточном усреднении во время задымления представлена на рис. 1а. Из этого рисунка видно, что

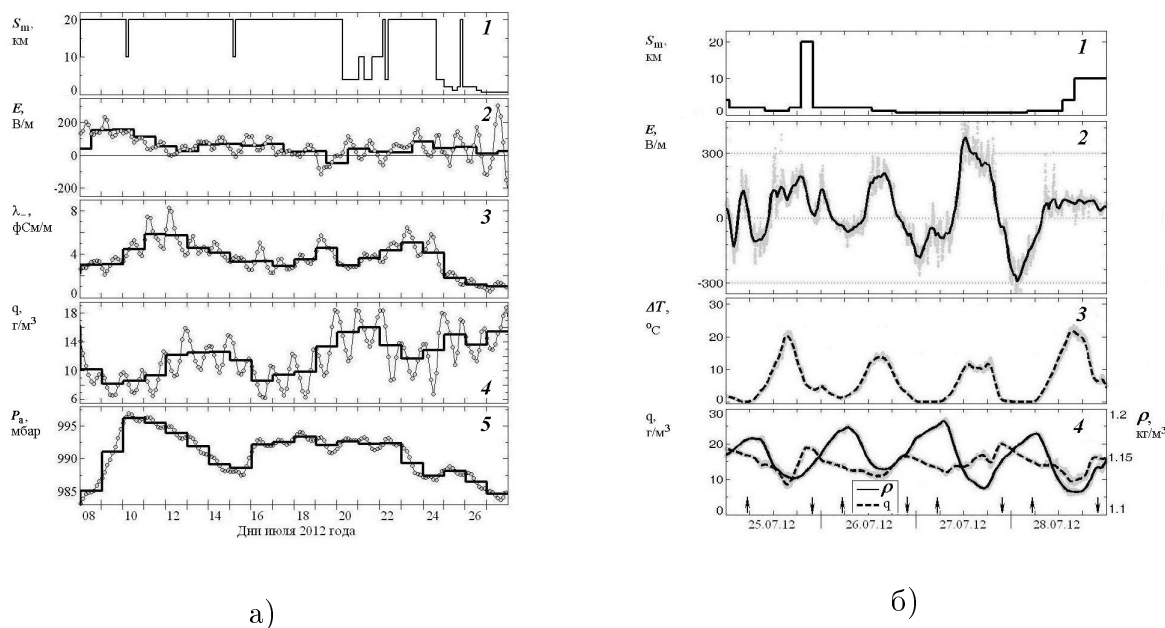


Рис. 1. Вариации атмосферно-электрических и метеорологических величин в июле 2012 г. (слева, а) и фрагмент, соответствующий интервалу интенсивного задымления (справа, б). Слева: панель 1 – метеорологическая дальность видимости  $S_m$ ; 2 – напряженность поля  $E$ ; 3 – отрицательная электропроводность  $\lambda_-$ ; 4 – абсолютная влажность  $q$ ; 5 – атмосферное давление  $P_a$ ; на панелях 2-5 тонкие и жирные линии – 3-х часовые и среднесуточные данные. Справа: панель 1 –  $S_m$ ; 2 –  $E$ ; 3 – разность температур приземной атмосферы и точки росы  $\Delta T$ ; 5 – абсолютная влажность  $q$  и плотность воздуха  $\rho$ ; на панелях 2-4: сплошные линии – часовое усреднение; стрелки – моменты восхода и захода Солнца.

длительная замутнённость атмосферы ведет к постепенному уменьшению напряженности поля (суточное усреднение) в соответствии с результатами работы [3].

Наиболее экстремальные условия по замутнённости атмосферы сложились в третьей декаде июля, когда дымовой шлейф от удаленных очагов пожара на несколько дней устойчиво оставался на территории г. Томска, а метеорологическая дальность видимости уменьшалась до сотен метров. Анализ данных по напряженности поля с 3-х часовым усреднением за это интервал наблюдений позволил впервые обнаружить эффект ежесуточных колебаний напряженности электрического поля в приземном слое от +300 В/м днем до –300 В/м ночью в условиях постоянного и сильного задымления (см. рис. 1б). Как видно из этого рисунка, напряженность электрического поля в эти дни систематически изменялась от положительных величин днем до отрицательных – ночью.

Синоптическая ситуация в этот период над всей восточной частью Западной Сибири была обусловлена малоградиентным барическим полем. Температура воздуха изменялась в пределах от +15<sup>0</sup>С в ночные часы до +30<sup>0</sup>С днём, ветер был слабым (1–3 м/с) северного направления, осадки отсутствовали.

Выявленные суточные вариации напряженности поля кардинальным образом отличаются как от суточных вариаций напряженности поля над океанами (т.н. кривая "Карнеги"), так и от усредненных вариаций поля  $E$  в средних широтах летом с полусуточным периодом [5]. В первом случае выявленные вариации опережают ход кривой "Карнеги" по фазе приблизительно на  $\pi$ , а во втором – периоды вариаций отличаются в  $\sim 2$  раза.

Отсутствие идентичности по ежесуточным изменениям напряженности поля  $E$  естественно объясняется неоднородностью дымового шлейфа, что подтверждается замеченными изменениями метеорологической дальности видимости (концентрации аэрозольных

частиц). Более регулярными оказались суточные колебания температуры атмосферы  $T_a$  и разности  $\Delta T = T_a - T_d$  температур атмосферы и точки росы  $T_d$ , сопровождаемые изменениями плотности атмосферы  $\rho$  и паров воды  $q$ .

В [3] было высказано предположение о том, что уменьшение напряженности атмосферного электрического поля в задымленной атмосфере возможно связано с ростом концентрации легких ионов в зоне пожара. В качестве таковых, в частности, могли быть ионы калия, имеющие низкий потенциал ионизации. Однако проведенные параллельно в эксперименте 2012 г. измерения электропроводности атмосферы показали, что с увеличением задымления абсолютные значения полярных электропроводностей не только не возрастают, а, наоборот, уменьшаются. Уменьшение полярных электропроводностей, вне зависимости от времени суток, указывает на то, что, увеличение концентрации частиц дымового аэрозоля, ведет к уменьшению концентрации легких ионов вследствие усиления их стока на аэрозольные частицы.

Вариации напряженности электрического поля в земной атмосфере со сменой знака полярности относятся к числу известных при многих природных и техногенных воздействиях. Обнаруженный эффект суточной вариации электрического поля в приземном слое от +300 В/м днем до -300 В/м ночью выделяется из известных тем, что он установлен при дымовом смоге от лесных пожаров, часто и надолго охватывающих большие территории многих регионов, включая территорию Сибири и Дальнего Востока. Очаги пожара являются источником аэрозольных частиц, часть из которых электризуется за счет термоэмиссии и трения в мощных конвективных потоках. Эти частицы оказывают влияние на вариации напряженности приземного электрического поля атмосферы в областях, покрытых дымовым шлейфом.

## Обсуждение полученных результатов

Предположение о существовании в атмосфере детерминированной связи между напряженностью атмосферного электрического поля  $E$  и метеорологической дальностью видимости  $S_m$  было высказано И.М. Имянитовым и К.С. Шифриным в виде электрооптического соотношения [6]:  $E = CS_m^{-1}$ , где  $C$  – некоторая константа.

В атмосферных дымках (относящихся к условиям хорошей погоды) важным механизмом, регулирующим изменчивость поля  $E$ , является изменение числа ионизированных молекул воздуха (легких аэроионов – основных носителей зарядов) вследствие их стока на атмосферный аэрозоль. Зарегистрированные данные указывают на то, что увеличение степени задымления атмосферы приводит к уменьшению полярных электропроводностей вне зависимости от времени суток и зарегистрированного количества лёгких аэроионов в атмосфере. Однако последнее никак не может привести к падению напряженности поля до малых значений, как было показано в [3], а тем более к смене её знака.

Взаимосвязь суточных вариаций напряженности электрического поля с наблюдаемыми вариациями метеорологических характеристик, представленных на рис. 1, допускает следующую интерпретацию обнаруженного эффекта.

После полудня с уменьшением инсоляции в однородной воздушной массе начинает падать температура  $T_a$  и одновременно начинается рост  $q$  и  $\rho$  при практически неизменном атмосферном давлении  $P_a$ . Падение  $T_a$  и рост  $\rho$  продолжают вплоть до восхода Солнца. Вместе с тем, увеличение плотности паров воды  $q$  продолжается только до захода Солнца. После захода Солнца при  $\Delta T \rightarrow 0$  начинается падение  $q$ , продолжающееся до восхода. В этот же промежуток времени происходит уменьшение электропроводности (числа легких ионов).

После захода Солнца при температуре атмосферы, близкой к температуре точки росы, частицы дымового аэрозоля приземного слоя начинают аккумулировать на себя водяной

пар. Одновременно, при взаимодействии легких ионов обеих полярностей с аэрозольными частицами более крупные из них становятся заряженными отрицательно и, вследствие оседания под действием силы тяжести, формируют вблизи поверхности отрицательный объемный заряд. Именно этот слой частиц с отрицательным объемным зарядом и приводит к инверсии направления напряженности поля ночью ( $E(t) < 0$ ).

С восходом Солнца начинается нарастание как плотности паров воды, так и электропроводности. Под воздействием конвективных потоков воздуха, выносящих частицы дымового аэрозоля вверх, и ускоренном обезвоживании этих частиц при  $T_a > T_d$  сформировавшийся ночью вблизи поверхности отрицательно заряженный слой разрушается, а напряженность электрического поля снова приобретает положительный знак.

Предлагаемая нами интерпретация этого эффекта не противоречит известным результатам наблюдений в адиабатической камере, которые, в свою очередь, согласуются с диффузионно-кинетической моделью ионной зарядки аэрозольных частиц [7]. Наблюдаемые при этом незначительные отклонения суточных колебаний от строго гармоничных лишь отражают неизбежную мелкомасштабную неоднородность дымового шлейфа и всегда присутствующие локальные особенности места наблюдения.

## Заключение

Обнаруженный климатически значимый эффект, влияющий на аэрозолеобразующие и вегетационные процессы, можно объяснить формированием отрицательно заряженного дымового слоя в нижней его части.

Принципиальное значение обнаруженного эффекта связано с той ролью, которую атмосферно-электрическое поле играет как в формировании погодных условий, так и в биосистемных процессах.

В целом полученные результаты свидетельствуют об очень сильном влиянии лесных пожаров на электрооптические характеристики нижней тропосферы. При большом числе пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока это обстоятельство необходимо учитывать в климатических моделях и иметь в виду при рассмотрении физических механизмов влияния солнечной активности на погоду и климат.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН "Природно-климатические изменения и их последствия для Сибири в современных условиях глобального потепления и антропогенных воздействий".

## Литература

1. *Мохов И.И.* Особенности формирования летней жары 2010 г. на европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47. – № 6. – С. 709-716.
2. *Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А.* Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т.17. – № 4. – С. 279-290.
3. *Пхалагов Ю.А., Ужесгов В.Н., Панченко М.В., Ипполитов И.И.* Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19. – № 10. – С. 861-864.
4. *Азбукин А.А., Богусевич А.Я., Ильичевский В.С. и др.* Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 11. – С. 89-97.

5. *Анисимов С.В., Мареев Е.А.* Геофизические исследования глобальной электрической сети // Физика Земли. – 2008. – № 10. – С. 8-18.
6. *Имянитов И.М., Шифрин К.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // УФН. – 1962. – Т. 76. – Вып. 4. – С. 593-642
7. *Смирнов В.В.* Электризация аэрозоля, обводняющегося в биполярно ионизованном воздухе // Изв. РАН Физика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 46. – № 3. – С. 321-331.

## **Variations of meteorological and atmospheric-electrical quantities in the plumes from powerful forest fires**

*Nagorsky P.M.<sup>1</sup>, Ippolitov I.I.<sup>1</sup>, Kabanov M.V.<sup>1</sup>, Pkhalagov Yu.A.<sup>2</sup>, Smirnov S.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia*

Extreme weather conditions, which prevailed in summer in the European part of Russia in 2002 and 2010 and in Siberia in 2004 and 2012, led to the emergence of a large number of forest and peat fires, accompanied by severe smog in the atmosphere.

Those exceptions, which are formed in the smog from forest fires, are among the uncertainties in terms of variations of the electrical parameters of the near ground atmosphere. During forest fires in Tomsk region in 2004, the following was discovered. With the increase of smoke (with the concentration of smoke particles) the electric field in the surface layer decreases from 200 to 30-60 V/m. Detailed studies of these processes have been carried out during long forest fires in Siberia in the summer of 2012.

The report presents the results of these studies. Analysis of monitoring data of atmospheric electrical parameters during maximum smoke aerosol concentrations in the surface layer of remote forest fires allowed us for the first time to detect the effect of daily reversals of the electric field intensity with the range from 300 and more V/m in daytime to - 300 V/m at night. The observed effect on the diurnal variation of electric field in the surface layer is distinguished from the well-known facts, that it is determined in the smog from forest fires, often covering large areas of many regions for a long time. The proposed interpretation of this effect does not contradict the well-known diffusion-kinetic model of aerosol ionic charge.