

УДК 551.594.2

Дымовые шлейфы от природных пожаров и электрическое состояние приземного слоя атмосферы

П.М. Нагорский¹, К.Н. Пустовалов^{1,2}, С.В. Смирнов^{1*}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 10/3

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Поступила в редакцию 20.11.2021 г.

На основе данных наземных наблюдений и спутникового дистанционного зондирования в период с 2006 по 2020 г. проведено исследование влияния дыма от удаленных лесных пожаров в Сибири на электрическое состояние приземного слоя атмосферы. Рассмотрены случаи, когда задымление охватывало всю толщу тропосферы и когда распространение дыма наблюдалось только в средней и верхней тропосфере. Установлено, что дымы от лесных пожаров в этих случаях оказывают сильное влияние на электрическое состояние приземного слоя, которое выражается как в завышении, так и в занижении нормальных значений электрического поля.

Ключевые слова: атмосферное электричество, лесные пожары, смог, метеорологическая дальность видимости, аэрозоли; atmospheric electricity, forest fires, smog, meteorological visibility range, aerosols.

Введение

Один из важнейших факторов воздействия на атмосферу и экосистемы – мощные лесные и степные пожары. Из-за них в атмосферу поступает большое количество продуктов горения, оказывающих значительное влияние на атмосферные и биологические процессы [1–11], в том числе аэрозоль. Так, летом 2016 г. в период максимального задымления территории Сибири из-за лесных пожаров суммарная масса дымового аэрозоля в тропосфере составила ~ 2 млн т, а площадь задымления – 5 млн км² [5].

Вопрос влияния замутненности атмосферы, включая задымление, на ее электрическое состояние недостаточно изучен [3–5, 12–16]. В атмосфере, в том числе и в атмосферных дымках, градиент потенциала напряженности электрического поля $\nabla\varphi = -E$ связан с числом легких аэроионов, определяющих электропроводность атмосферы. Локальное уменьшение концентрации легких ионов приводит к соответствующему уменьшению электропроводности и к увеличению $\nabla\varphi$. На основании этого в [12] было высказано предположение о существовании детерминированной связи между напряженностью атмосферного электрического поля и метеорологической дальностью видимости (S_m), которую можно представить в виде $E = B \cdot S_m^{-1}$, где B – константа. Позже, в [13–15], было показано, что на основании соотношения Кошмидера $S_m = 3,9/\beta(L)$, связывающего метеорологическую дальность види-

мости и коэффициент аэрозольного ослабления излучения β на длине волны $L = 0,55$ мкм, напряженность электрического поля можно записать в виде $E = B_1 \cdot \beta(L = 0,55)$. Из этого соотношения следует, что с увеличением числа аэрозольных частиц падает прозрачность атмосферы, а напряженность поля должна возрасти. Проведенные в [13, 14] исследования зависимостей между электрическими и оптическими явлениями в условиях атмосферных дымок различной плотности и происхождения показали, что связь между $\beta(L)$ и напряженностью поля E может быть положительной. Однако в целом характер этой связи статистический. Такой вывод подтверждается результатами работы [16], в которой показано, что наличие аэрозоля может приводить к двум последствиям: а) снижение электропроводности воздуха; б) уменьшение дальности видимости.

Однако в [15], где рассматриваются результаты измерений в задымленной атмосфере, проводившихся с 1 по 24 июня 2004 г., был выявлен эффект противофазной изменчивости коэффициента $\beta(L = 0,55)$ и напряженности электрического поля, а также высказано предположение о возможной связи уменьшения E с ростом концентрации легких ионов в зоне пожара. Отметим, что падение E зарегистрировано в случае не только прохождения дымового шлейфа от удаленных лесных пожаров [15], но и интенсивных пылевых бурь [17, 18], а также прохождения эруптивных облаков, образующихся при вулканической активности [19].

Таким образом, сложные взаимосвязи между физическими, химическими и биологическими процессами во время сильных лесных пожаров определяют важность их исследований. В частности, размеры и состав частиц дымового аэрозоля изменяются

* Петр Михайлович Нагорский (npm_sta@mail.ru); Константин Николаевич Пустовалов (const.pv@yandex.ru); Сергей Васильевич Смирнов (smirnov@imces.ru).

благодаря фотохимической трансформации органических соединений [7, 8]. Однако эффективность этих процессов существенно зависит от наличия или отсутствия на частицах электрических зарядов. Поэтому необходимо получить количественные оценки механизмов взаимодействия заряженного аэрозоля с электрическим полем атмосферы для достоверного диагноза и прогноза состояния окружающей среды [9]. В этом и состоит цель настоящей работы.

1. Используемые данные и методика их обработки

Для анализа изменчивости атмосферно-электрических и метеорологических величин были использованы данные измерений геофизической обсерватории (ГО) ИМКЭС СО РАН [20]. Метеорологические измерения выполнялись с помощью автоматических метеостанций АМК-3 [21] и WXT520, измерения градиента потенциала электрического поля $\nabla\varphi$ — электростатическими флюксметрами «Поле-2» и CS100, а полярных электропроводностей λ_{\pm} — измерителем «Электропроводность-2». Дополнительно привлекались данные визуальных наблюдений за облачностью, атмосферными явлениями и метеорологической дальностью видимости S_m , проводимых в ГО и на гидрометеорологической станции (ГМС) «Томск» [22], а для оценки вертикального распределения удельной влажности q в тропосфере использовались аэрологические данные [23].

Отбор случаев задымления атмосферы над пунктом наблюдения проводился с помощью данных приборов Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) и Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS), установленных на спутнике Suomi NPP [24], и лидара Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP) на спутнике CALIPSO [25]. VIIRS представляет собой 22-канальный спектрометр (0,45–12 мкм), OMPS — набор из трех спектрометров (OMPS, OMPS-Nadir и OMPS-Limb), CALIOP — трехканальный лидар с ортогональной поляризацией. Данные VIIRS использовались для визуального определения задымлений, данные OMPS (Aerosol Index, AI) — для количественной оценки степени задымления, а данные CALIOP — для оценки вертикальной структуры дымовых шлейфов. При отборе учитывались шлейфы как в виде плотной струи, так и в виде тонкой пелены с минимальным значением аэрозольного индекса $AI = 0,5$. AI рассчитывается по данным набора спектрометров OMPS и позволяет количественно оценить степень аэрозольного загрязнения воздуха (задымления, запыления). На основе данных ГМС «Томск» в ближайшие после пролетов спутников сроки из отобранных случаев исключались те, во время которых отмечались облака следующих типов: кучево-дождевые (Cb), слоисто-дождевые (Ns), слоистые (St), разорванно-дождевые (Frn), а также связанные с ними атмосферных явлений. Всего с мая по сентябрь 2012–2019 гг. было отобрано ~ 100 случаев.

Все отобранные случаи с учетом данных о дальности видимости в приземном слое были разделены

на два условных класса: общее задымление и приподнятое задымление. Общее задымление наблюдалось во всей толще нижней и средней тропосферы, включая приземный слой, где $S_m < 10$ км (мгла). Нижняя граница приподнятого задымления находилась выше приземного слоя, в котором $S_m \geq 10$ км.

На рис. 1 (цв. вкладка) показан пример вертикальной структуры дымового шлейфа, с которым связаны оба класса задымления.

2. Результаты и их обсуждение

2.1. Электрическое состояние приземного слоя при общем задымлении

Вначале рассмотрим, следуя [4, 10, 11], динамику градиента потенциала электрического поля во время летних пожаров 2012 г. Синоптическая ситуация над восточной частью Западной Сибири в этот период была обусловлена обширным блокирующим антициклоном.

Максимальное задымление отмечалось 25–28 июля 2012 г., когда S_m была не выше 500 м. В этот период вариации $\nabla\varphi$ в приземном слое были максимальны: $\nabla\varphi$ систематически изменялся от положительных значений днем до отрицательных ночью (от 300 В/м до –300 В/м). Выявленные нами суточные вариации $\nabla\varphi$ кардинально отличаются как от суточных вариаций $\nabla\varphi$ в условиях «хорошей погоды» (кривая Карнеги), так и от типичных вариаций $\nabla\varphi$ в средних широтах летом с полусуточным периодом [26].

Наблюдаемые изменения, предположительно, можно объяснить следующим образом. После захода Солнца при температуре, близкой к температуре точки росы, частицы дымового аэрозоля начинают аккумулялировать на себя водяной пар. Одновременно 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. После захода Солнца начинается падение q , продолжающееся до восхода. В этот же промежуток времени происходит уменьшение полярных электропроводностей. После восхода Солнца с ростом температуры начинается увеличение удельной влажности и полярных электропроводностей. Сформировавшийся ночью вблизи поверхности отрицательно заряженный слой разрушается, а градиент потенциала электрического поля снова становится положительным.

Таким образом, при выявлении зависимостей между $\nabla\varphi$, λ_{\pm} и дальностью видимости необходимо учитывать установленные ранее [4, 10, 11] закономерности вариаций $\nabla\varphi$ и λ_{\pm} в зависимости от времени суток. Поэтому взаимосвязи $\nabla\varphi$ и λ_{\pm} с S_m для ночных (22:00–04:00 по местному времени) и дневных (10:00–16:00 по местному времени) условий рассмотрены отдельно.

Для анализа использованы данные за следующие интервалы: а) 24.06–09.07 и 20.07–05.08.2012 г.; б) 05.08–09.08.2013 г.; в) 18.08–22.08.2016 г.; г) 18.07–28.07 и 18.08–23.08.2019 г. Эти интервалы включают в себя временной переход от атмосферы, свободной от задымлений, к задымленной и обратно. Величины $\nabla\varphi$ и λ_{\pm} были предварительно усреднены на интервале 1 ч, а отсутствующие значения S_m (S_m регистрировалось с тактом 3 ч) были получены при помощи линейной интерполяции также с тактом 1 ч. Результаты обработки показаны на рис. 2 и в табл. 1.

Также на рис. 2 построены регрессионные зависимости анализируемых величин от S_m . Уравнения для них имеют вид $y = a \cdot \lg(S_m) + b$. Коэффициенты детерминации R^2 регрессионных уравнений, показывающие их статистическую значимость, приведены в табл. 1.

На основе экспериментальных данных было отмечено, что усиление задымленности и соответствующее уменьшение S_m приводят к усилению стока легких ионов на дымовой аэрозоль и к соответствующему уменьшению полярных электропроводностей

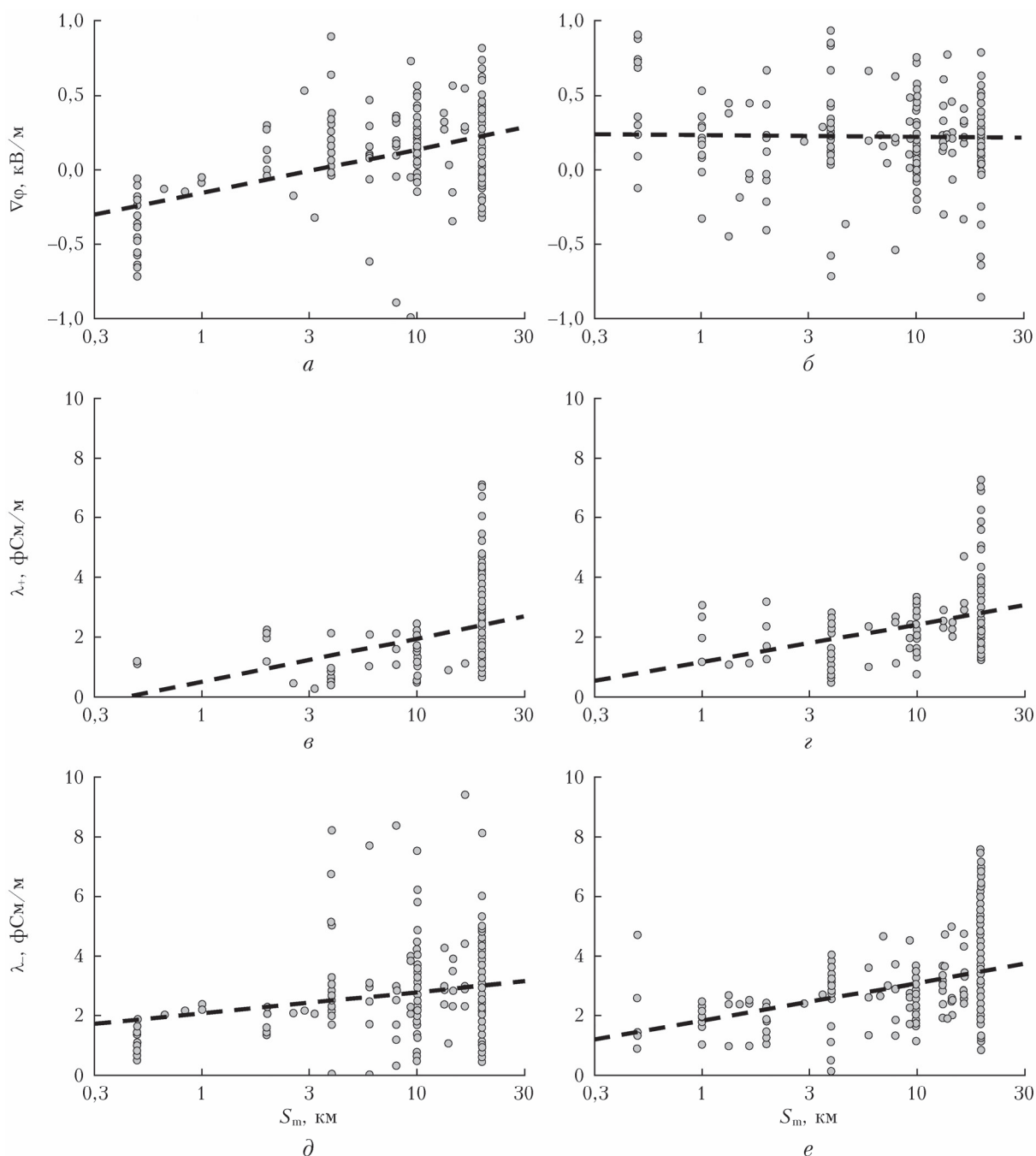


Рис. 2. Зависимости между атмосферно-электрическими величинами (градиентом потенциала $\nabla\varphi$ и полярными электропроводностями λ_{\pm}) и дальностью видимости S_m для ночных (а), (в), (д) и дневных (б), (г), (е) условий: кружки – среднечасовые значения; штриховые линии – линии регрессии

Таблица 1

Коэффициенты линейной регрессии атмосферно-электрических параметров (день/ночь)

Параметр	Коэффициент		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
$\lambda_{-}(\lg(S_m))$	-1,26/-0,72	-1,84/-1,26	0,15/0,06
$\lambda_{+}(\lg(S_m))$	1,26/1,47	1,16/0,48	0,13/0,13
$\nabla\varphi(\lg(S_m))$	-158/290	235/-8,87	0,001/0,24
$\nabla\varphi(CLT_{380})$	3,18/-	104/-	0,02/-

Примечание. Значения коэффициентов $\lambda_{\pm}(\lg(S_m))$ и $\nabla\varphi(\lg(S_m))$ получены для случаев общего задымления, а $\nabla\varphi(CLT_{380})$ – для приподнятого задымления, CLT_{380} – спектральная прозрачность атмосферы на $L = 380$ нм, зависящая от содержания облачности аэрозоля.

вне зависимости от времени суток и типа заряда легких ионов (рис. 2, *в–е*).

В дневных условиях вариации $\nabla\varphi$ практически не зависят от интенсивности задымления. Поскольку проводимость приземного слоя под влиянием интенсивного задымления падает, только формирование новых областей объемных зарядов сможет компенсировать неизбежное возрастание $\nabla\varphi$. В ночных условиях интенсивное задымление приводит вначале к падению $\nabla\varphi$ до нуля, а затем – к изменению знака $\nabla\varphi$, что подтверждает установленную ранее закономерность.

Таким образом, вариации $\nabla\varphi$ определяются не только изменениями проводимости приземной атмосферы под влиянием задымления, но и формированием слоя объемного заряда, компенсирующего возрастание напряженности поля днем и приводящего к инверсии его направления ночью.

Выявленные особенности реакции $\nabla\varphi$ существенно ограничивают (фактически сводят на нет) применимость высказанного в [12–16] предположения о возможном существовании детерминированной связи между $\nabla\varphi = -E$ и S_m для условий интенсивного задымления в приземном слое от удаленных лесных пожаров.

2.2. Электрическое состояние приземного слоя при приподнятом задымлении

Рассмотрим изменения $\nabla\varphi$ в случае, когда слои дымового аэрозоля расположены выше приземного слоя атмосферы. В качестве независимых переменных воспользуемся аэрозольным индексом, который представляет собой количественную характеристику оптической плотности аэрозольных слоев (в том числе дымовых), и спектральной прозрачностью атмосферы (CLT), обусловленной облачностью, которая была получена на основе данных многоканального фильтрового радиометра NILU-UV-6T:

$$CLT_{380} = \frac{E_{e(\text{изм})}}{E_{e(\text{ясно})}} \cdot 100\%,$$

где $E_{e(\text{изм})}$ и $E_{e(\text{ясно})}$ – измеряемая и модельная (для ясного неба) энергетическая освещенность для длины волны 380 нм.

Для выявленных ситуаций в интервалах времени ± 30 мин относительно времени пролета спутника были определены вариации $\nabla\varphi$ и CLT_{380} . Поскольку вследствие фильтрации были исключены ситуации с плотными облаками нижнего яруса, можно считать, что значение и изменчивость CLT_{380} обусловлены главным образом влиянием атмосферного аэрозоля, в том числе дымового.

Анализ связи градиента потенциала электрического поля с характеристиками прозрачности атмосферы (CLT_{380} и AI) позволил построить регрессионную зависимость, коэффициенты которой приведены в табл. 1 (рис. 3).

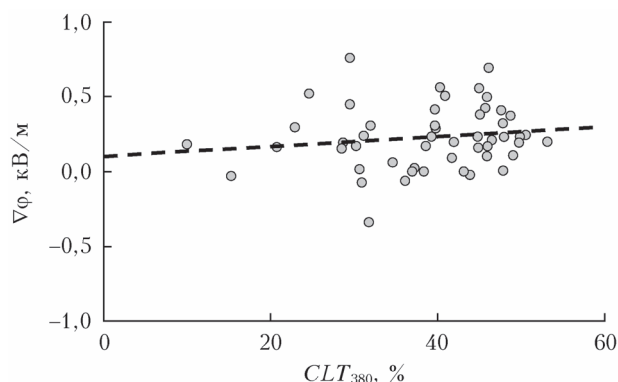


Рис. 3. Зависимость значений $\nabla\varphi$ от CLT_{380} при прохождении дымовых шлейфов от удаленных лесных пожаров: кружки – среднечасовые значения; штриховая линия – линия регрессии

Согласно рис. 3, при уменьшении прозрачности атмосферы отмечается статистически значимое уменьшение напряженности электрического поля (табл. 1). Полученный результат хорошо согласуется с теоретическими представлениями [27], согласно которым увеличение электрического сопротивления в столбе атмосферы выше пограничного слоя должно приводить к уменьшению градиента потенциала электрического поля у поверхности земли.

В ходе дальнейшего анализа изменчивости приземного электрического поля при наличии плотных дымовых шлейфов над пунктом наблюдения были рассмотрены только те значения $\nabla\varphi$, которым соответствовали значения $CLT_{380} \leq 40\%$ и $AI \geq 1$.

Распределение значений $\nabla\varphi$ при наличии плотного дымового шлейфа над Томском (рис. 4) отличается от аналогичного распределения при невозможных условиях, а именно: распределение значений $\nabla\varphi$ сдвинуто в область отрицательных значений, мода приходится на более низкие положительные значения, распределение более плосковершинное (более низкий коэффициента эксцесса).

Анализ распределений значений CLT_{380} , характерных для ситуаций с наличием дымовых шлейфов от удаленных лесных пожаров и их отсутствием,

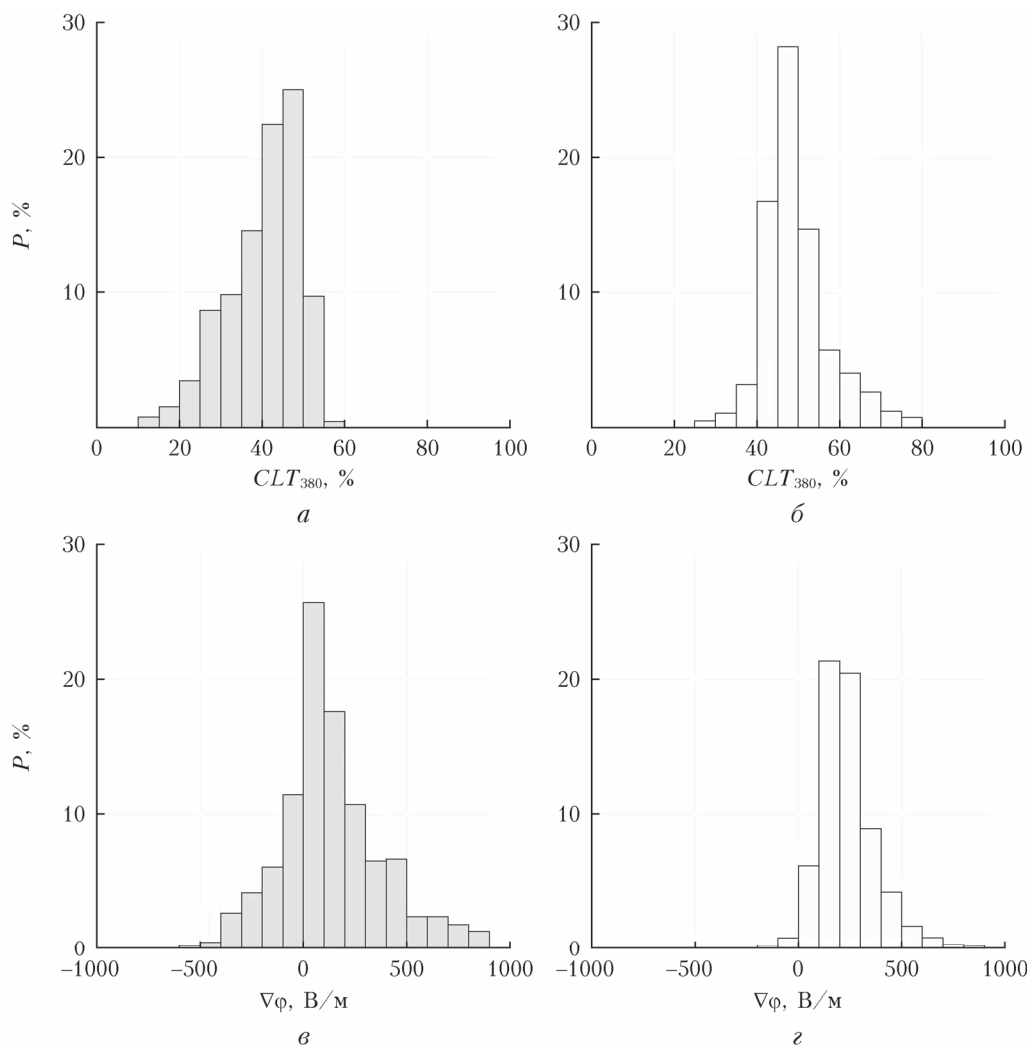


Рис. 4. Распределения среднeminутных значений CLT_{380} (а, б) и $\nabla\varphi$ (в, г) для ситуаций наличия дымовых шлейфов от удаленных лесных пожаров (а, в) ($\alpha = AI \geq 1$ и $CLT_{380} \leq 40\%$) и для условий невозмущенной атмосферы (б, г), P – процентиль

показал, что модальное распределение CLT_{380} в ситуациях с дымовыми шлейфами смещено в сторону меньших значений, в то время как для невозмущенных условий распределение CLT_{380} несколько смещено в сторону больших значений (см. рис. 4).

Медианная величина $\nabla\varphi$ при прохождении дымового шлейфа в 2,3 раза меньше аналогичной величины в условиях «хорошей погоды» (табл. 2).

Таблица 2

Медиана (Me), интерквартильный размах ($IQR = P_{75} - P_{25}$), минимальные и максимальные значения $\nabla\varphi$ при $\alpha = 0,05$ (процентили P_5 и P_{95}) при прохождении плотных дымовых шлейфов ($AI \geq 1$ и $CLT_{380} \leq 40\%$)

Атмосферные условия	Me , В/м	IQR , В/м	P_5 , В/м	P_{95} , В/м
Прохождение плотного дымового шлейфа	94	262	-255	626
Условия «хорошей погоды»	217	152	52	487

При этом размах значений $\nabla\varphi$ под воздействием дымов от лесных пожаров в 1,7 раза больше, чем при невозмущенных условиях.

Таким образом, дымовые шлейфы от удаленных лесных пожаров приводят, с одной стороны, к значительному снижению средних значений градиента потенциала электрического поля в приземном слое, а с другой – к сильному увеличению их дисперсии по сравнению с условиями «хорошей погоды». Экспериментально отмечен эффект снижения значений $\nabla\varphi$ при увеличении оптической плотности дымового шлейфа.

Учет влияния дымовых шлейфов от лесных пожаров на электрическое состояние приземного слоя в моделях глобальной электрической цепи весьма важен в связи с тем, что дымовые шлейфы от интенсивных лесных пожаров могут распространяться над большими территориями, а также в связи со значительным учащением лесных пожаров в начале XXI в. на территории Северной Евразии.

Заключение

Вариации градиента потенциала электрического поля под воздействием задымления в приземном слое определяются не только изменениями проводимости приземной атмосферы, но и формированием слоев объемного заряда, компенсирующих возрастание напряженности поля днем и приводящих к инверсии направления электрического поля ночью.

Задымление в тропосфере от удаленных лесных пожаров приводит к более чем двукратному понижению (в 2,3 раза) дневных значений $\nabla\varphi$, а также практически к удвоению размаха значений $\nabla\varphi$.

В связи со значительным увеличением числа, площади и интенсивности лесных и степных пожаров в XXI в. не только на территории России, но и в Северной Евразии, Канаде, Австралии наличие выявленных закономерностей важно, поскольку позволяет: а) скорректировать оценку состояния приземного слоя на больших территориях; б) оценить влияние природных пожаров на глобальную электрическую цепь.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (№ 121031300154-1).

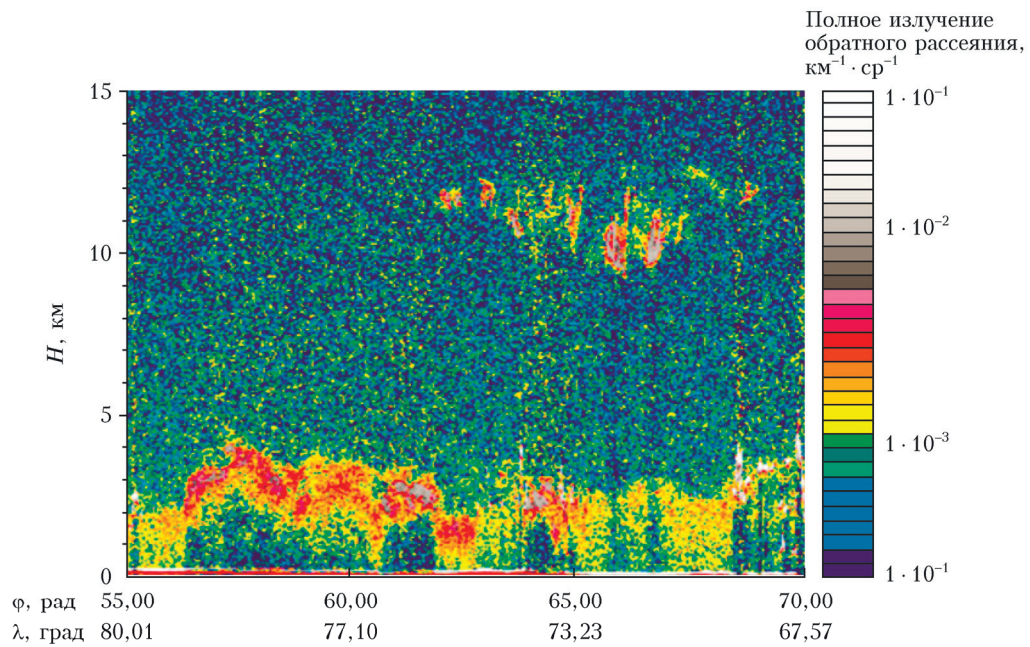
1. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 4. С. 279–292.
2. Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 709–716.
3. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Панченко М.В., Ипполитов И.И. Электрооптические связи в атмосфере в условиях дымового смога // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 10. С. 861–864.
4. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Пхалагов Ю.А., Смирнов С.В. Суточные вариации напряженности электрического поля в дымах от лесных пожаров // Докл. РАН. 2013. Т. 453, № 2. С. 207–210.
5. Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Крупномасштабные дымки Евразии летом 2016 г. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2019. Т. 55, № 3. С. 261–270.
6. Семутникова Е.Г., Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Горчакова И.А., Пономарева Т.Я., Исаков А.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Кузнецов Г.А. Сибирская дымная мгла над европейской территорией России в июле 2016 г. Загрязнение атмосферы и радиационные эффекты // Оптика атмосф. и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 962–970; Semutnikova E.G., Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Kopeikin V.M., Karпов A.V., Gorchakova I.A., Ponomareva T.Ya., Isakov A.A., Gushchin R.A., Datsenko O.I., Kurbatov G.A., Kuznetsov G.A. Siberian smoke haze over European territory of Russia in July 2016: Atmospheric pollution and radiative effects // Atmos. Ocean. Opt. 2018. V. 31, N 2. P. 171–180.
7. Kononov I.B., Beekmann M., Berezin E.V., Petetin H., Mielonen T., Kuznetsova I.N., Andreae M.O. The role of semi-volatile organic compounds in the mesoscale evolution of biomass burning aerosol: A modeling case study of the 2010 mega-fire event in Russia // Atmos. Chem. Phys. 2015. V. 15. P. 13269–13297.
8. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics. New York: Wiley Intersci. Publ., 1998. 1248 p.
9. Елисеев А.В., Васильева А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирование // Фунд. и прикл. климатол. 2020. Т. 3. С. 73–119.
10. Nagorskiy P.M., Kabanov M.V., Pustovalov K.N. The influence of smoke from forest fires on the meteorological and electrical characteristics of the atmosphere // Predicting, Monitoring, and Assessing Forest Fire Dangers and Risks. IGI Global, 2020. P. 322–344.
11. Pustovalov K.N., Nagorskiy P.M., Smirnov S.V., Oglezneva M.V. The effect of smoke plumes from remote forest fires on the surface electric field. // Proc. SPIE. 2020. V. 11560. P. 115606R-1–4.
12. Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физ. наук. 1962. Т. 76, № 4. С. 593–641.
13. Пхалагов Ю.А., Ужegov 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 атмосф. и океана. 1999. Т. 12, № 2. С. 105–108.
14. Пхалагов Ю.А., Ипполитов И.И., Ужegov В.Н., Булдаков А.В., Аршинов М.Ю. Исследования взаимосвязи между УФ-потоксом, напряженностью электрического поля и оптико-микрофизическими характеристиками приземного слоя атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15, № 4. С. 337–343.
15. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Ипполитов И.И., Винарский М.В. Исследования взаимосвязей оптических и электрических характеристик приземной атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 416–420.
16. Harrison R.G. Aerosol-induced correlation between visibility and atmospheric electricity // J. Aerosol Sci. 2012. V. 52. P. 121–126.
17. Daskalopoulou V., Mallios S.A., Ulanowski Z., Hloupis G., Gialitaki A., Tsikoudi I., Tassis K., Amirides V. The electrical activity of Saharan dust as perceived from surface electric field observations // Atmos. Chem. Phys. 2021. V. 21. P. 927–949.
18. Franzese G., Esposito F., Lorenz R., Silvestro S., Ionut Popa C., Molinaro R., Cozzolino F., Molfese C., Marty L., Deniskina N. Electric properties of dust devils // Earth Planet. Sci. Lett. 2018. V. 493. P. 71–81.
19. Фирсов П.П., Акбашев Р.Р., Жаринов Н.А., Максумов А.П., Маневич Т.М., Мельников Д.В. Электризация эруптивных облаков вулкана Шивелуч в зависимости от характера эксплозии // Вулканология и сейсмология. 2019. Т. 13. № 3. С. 172–184.
20. Геофизическая обсерватория ИМКЭС СО РАН [Электронный ресурс]. URL: <http://www.imces.ru/index.php?rm=news&action=view&id=899> (дата обращения: 29.09.2021).
21. Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д. Полевой вариант метеорологического комплекса АМК-03 // Метеорол. и гидрол. 2009. Т. 34, № 2. С. 101–106.
22. ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 29.09.2021).
23. Wyoming Weather Web. Atmospheric Soundings [Электронный ресурс]. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: 25.11.2021).
24. EOSDIS Worldview [Электронный ресурс]. URL: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> (дата обращения: 29.09.2021).
25. The Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) [Электронный ресурс]. URL: <https://www-calipso.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 29.09.2021).

26. Анисимов С.В., Шилова Н.М. Вариабельность электрического поля невозмущенной атмосферы средних широт // Геофиз. исследования. 2008. Т. 9, № 3. С. 25–38.

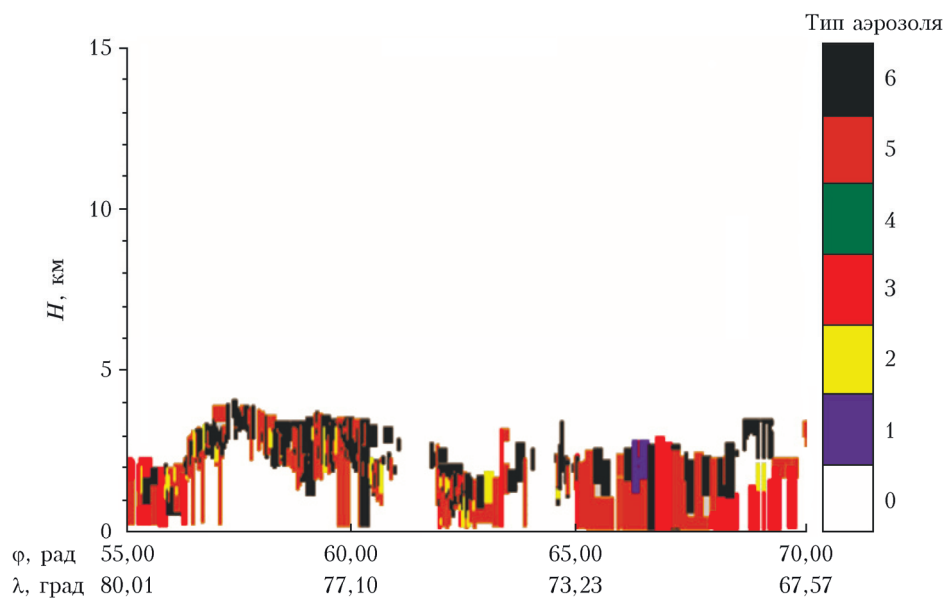
27. Morozov V.N.; Kupovich G.V. Theory of Electrical Phenomena in Atmosphere. Saarbruken: LAP Lambert Academic Publishing, 2012, 330 p.

P.M. Nagorskiy, K.N. Pustovalov, S.V. Smirnov. **Smoke plumes from wildfires and the electrical state of the surface air layer.**

Using ground-based observation and satellite remote sensing data from 2006 to 2020 the smoke effect from distant wildfires in Siberia on the electrical state of the surface air layer has been studied. The cases were considered where smoke covered the troposphere down to the surface layer and where smoke was observed only in the middle and upper troposphere. It is found that smoke from wildfires in these cases has a strong but different effect on the electrical state of the surface air layer.



a



б

Рис. 1. Вертикальный профиль полного излучения обратного рассеяния (*a*) и маска слоев аэрозоля различных подтипов (*б*) по данным лидара CALIOP за 21.07.2016 г., соответствующие случаю прохождения дымового шлейфа над Западной Сибирью, нижняя граница которого простирается до поверхности земли или расположена выше пограничного слоя. Типы аэрозоля: 0 – нет аэрозоля; 1 – чистый морской аэрозоль; 2 – пыль; 3 – загрязненный континентальный аэрозоль; 4 – чистый континентальный аэрозоль; 5 – загрязненная пыль; 6 – дымовой аэрозоль