

About some electrical characteristics of the atmosphere in the areas of large fires and atmospheric-ionospheric interaction

Alexander M. Gokov

*Kharkiv National University of Economics n.a. Semen Kuznets
Kharkiv, 61166, Ukraine
amg_1955@mail.ru*

Abstract: *Considered the main characteristics of large fires. The formulas for estimating disturbances of the electrical characteristics of the surface layer of the atmosphere, based on the volume distribution model average mass concentration of smoke aerosol is given. Presented a possible model of atmospheric-ionospheric interactions. Briefly analyzed the main mechanisms of transmission the disturbances from the lower atmosphere into the ionosphere and magnetosphere. The possible ecological effects are considered.*

Keywords: *fires, the atmosphere, the ionosphere, the electrical characteristics of the atmosphere, model of atmospheric-ionospheric interaction, environmental effects.*

О некоторых электрических характеристиках атмосферы в районах крупных пожаров и атмосферно-ионосферном взаимодействии

ГОКОВ А.М.

*Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеца
г. Харьков, 61166, Украина
amg_1955@mail.ru*

Аннотация: *Рассмотрены основные характеристики больших пожаров, на основе модели объемного распределения средней массовой концентрации дымового аэрозоля приведены формулы для оценки возмущений электрических характеристик приземного слоя атмосферы. Представлена возможная модель атмосферно-ионосферного взаимодействия, кратко проанализированы основные механизмы передачи возмущений из нижней атмосферы в ионосферу и магнитосферу, рассмотрены возможные экологические эффекты.*

Ключевые слова: пожары, атмосфера, ионосфера, электрические характеристики атмосферы, модель атмосферно-ионосферного взаимодействия, экологические эффекты.

1. Введение

Крупные пожары различного происхождения часто имеют место на нашей планете, охватывают большие площади и временные интервалы. Они оказывают не только огромный экологический ущерб, но и сильно модифицируют приземную атмосферу, существенно изменяют ее электрические характеристики, вызывают ряд волновых процессов. Волновые возмущения, в свою очередь, вызывают заметные и характерные изменения в ионосферном электричестве на высотах 50 – 80 км, что приводит к модификации ионосферной плазмы на этих высотах и, вероятно, выше, нарушению радиосвязи и ряду других проблем. В результате пожаров у поверхности Земли образуется плотный слой с большим не скомпенсированным зарядом, что приводит к формированию ионизированного слоя у поверхности Земли на площадях в десятки квадратных километров и толщиной в десятки-сотни метров и больше. Возможное влияние крупных пожаров на нижнюю ионосферу исследовано мало. Известно, что большие пожары сопровождаются генерацией акустического излучения в широком диапазоне частот [1]. Пульсирующие огненные факелы в районе пожара генерируют шумовое электромагнитное излучение в диапазоне частот ~ 1 Гц – 100 МГц с неравномерным спектром, в котором выделены спектральные составляющие. В результате преобразования энергии атмосферного электрического поля в энергию низкочастотного электромагнитного излучения возможны генерация или усиление излучения в низкочастотной части радиодиапазона. Также уже установлено, что часто при сильных ветрах, грозах, пылевых бурях и протяженных пожарах напряженность электрического поля в регионах может достигать 1000 В/м и более. В работе представлена возможная модель атмосферно-ионосферного взаимодействия, кратко проанализированы основные механизмы передачи возмущений из нижней атмосферы в ионосферу и магнитосферу

2. Модель атмосферно-ионосферного взаимодействия

Модель объемного распределения средней массовой концентрации дымового аэрозоля $\langle M \rangle(x, y, z)$ с униполярным зарядом может быть построена на основе предположения, что распределение вещества по трем направлениям в зоне пожара происходит независимо по нормальному зако-

ну. Начало прямоугольной декартовой системы координат находится в условной середине линии пожара (ось OY); направление среднего ветра совпадает с положительным направлением оси OX, ось OZ - вертикальна к поверхности Земли. Зона плазмы (горения), как правило, занимает меньшую площадь, чем объемная зона аэрозоля, и потому, как основной источник рассматривается модификация атмосферного электричества условно равномерно пространственно распределенным дымовым аэрозолем. Рассеяние аэрозоля по вертикали рассматривается как бы в безграничном пространстве. Эволюция дымового шлейфа в модели обуславливается в основном турбулентными характеристиками атмосферы. Распределение объемного заряда аэрозоля $\rho(x, y, z)$ может быть получено из формулы для распределения $\langle M \rangle(x, y, z)$. По известному распределению $\rho(x, y, z)$ можно рассчитать напряженность электрического поля $E(x, y, z)$ в произвольной точке пространства, окружающего дымовой шлейф пожара. Вблизи поверхности Земли силовые линии электростатического поля E имеют преимущественно нормальную составляющую E_z и тогда уравнение для $E_z(x_1)$, пригодное для проведения оценок, может быть представлено в виде:

$$E_z(x_1) = 4\rho_0(x_1)^2 \int_{x_1/2}^{3x_1/2} \frac{1}{x} \ln \left[\frac{1 + \sqrt{4A / \sigma_y^2(x)}}{1 + \sqrt{4B / \sigma_y^2(x)}} \right] \sqrt{B/A} dx, \quad (1)$$

где $A = (x - x_1)^2 + (z^* + \sigma_z / 2)^2$, $B = (x - x_1)^2 + (z^* - \sigma_z / 2)^2$.

Оценки показали, что для дымовых шлейфов пожаров, охватывающих эффективный объем $V \sim 5 \times 10^{10} \text{ м}^3$, максимальное отклонение градиента потенциала электрического поля атмосферы от фоновых значений составляет $\pm 10 \text{ кВ/м}$, что сравнимо с его изменениями во время пылевых бурь [2]. Уравнение (1) позволяет сделать оценки E_z : для $x_1 = 1 \text{ м}$ $E_z \approx \cdot 10^3 \text{ В/м}$, для $x_1 = 100 \text{ м}$ – $E_z \approx 10^2 \text{ В/м}$. Полученная оценка возмущений E_z сравнима с экспериментально полученными изменениями E_z перед землетрясениями (см., напр., [3]).

Вопрос передачи возмущений из нижней атмосферы в ионосферу и магнитосферу изучен мало. Рассмотрим кратко основные механизмы.

Возмущения вертикального электростатического поля. В [4] выполнен расчет проникновения в ионосферу электрического поля, генерируе-

мого локальной областью сейсмического источника в приземном слое атмосферы и показано, что эффективность проникновения поля сильно зависит от размера области локализации вертикального поля. Напряженность электрического поля на ионосферных высотах имеет заметное значение (0,3 – 0,7 В/м) только для источников с характерным размером более примерно 100 км при условии, что в эпицентре величина $|E_z| \approx 10^3$ В/м. Как видно из приведенных выше оценок, выполненных по формуле (1), такие поля могут быть реальными в зоне большого пожара и поэтому рассмотренный источник может приводить к изменениям напряженности поля на ионосферных.

Изменения плотности атмосферного газа. Известно, что большие пожары сопровождаются генерацией акустического излучения в широком диапазоне частот, суммарная мощность которого возрастает в сотни раз по сравнению с невозмущенными условиями. Изменения плотности атмосферного газа у поверхности Земли в регионе пожара эффективно инициируют перенос возмущений из нижней части атмосферы в верхнюю на ионосферные высоты, где в результате взаимодействия с магнитоактивной плазмой происходит трансформация их в волны различных типов. Акустические эффекты в результате пожаров могут иметь не только локальные последствия, поскольку при распространении вверх волны диссипируют на высотах 100 – 250 км и меняют динамический режим средней и верхней атмосфер.

Возмущения параметров глобальной электрической цепи. Пожары существенно изменяют электрические свойства приземной атмосферы. Проводимость огненного факела и горячего воздуха над ним значительно выше, чем вне очага пожара. Большая пространственная длина очага пожара приводит к заметному увеличению тока проводимости в возмущенных областях атмосферы. Поэтому передача возмущений в ионосферу может осуществляться также в результате возмущения параметров глобальной электрической цепи (см., напр., [5]). Характерное время, очевидно, может составлять $\sim 10^3$ – 10^4 с. Атмосферно-ионосферное электрическое взаимодействие в области больших пожаров будем рассматривать по методике [5]. Она основана на представлении мезосферы в качестве активного элемента глобальной атмосферной электрической цепи. Рост на один-два порядка тропосферной проводимости над регионом посредством тропосферного-мезосферных электрических связей приводит к падению напряженности мезосферного электрического поля и соответствующее изменение проводимости мезосферы, что может приводить к быстрой смене

условий распространения радиоволн в нижней ионосфере над регионом пожара. Значительное изменение электрического потенциала в мезосфере над районом пожара может вызвать изменение разницы мезосферных потенциалов между регионом пожара и удаленным районом наблюдения поэтому возможно развитие возмущений мезосферной плазмы и над районом наблюдения, которые могут регистрироваться радиофизическими методами [5].

3. Экологические эффекты

Под экологическими эффектами, как правило, понимаются заметные отклонения параметров среды от естественных невозмущенных значений, которые оказывают отрицательное воздействие на флору и фауну планеты. Здесь особенно нужно отметить, что условия крупных пожаров характеризуются относительной долговременностью факторов, воздействующих на среду обитания. Экологические последствия крупных пожаров связаны с: 1) массовыми выбросами в приземную атмосферу продуктов горения (дыма и сажи); 2) изменениями приземного атмосферного электрического поля и 3) генерацией и усилением электромагнитных и акустических волновых процессов. Рассмотрим кратко влияние перечисленных факторов.

Выбросы в атмосферу продуктов горения. Наиболее существенные экологические последствия связаны с выбросами пыли, дыма и сажи, которые экранируют солнечное излучение. Сильные пожары в регионе, создавая мощную вертикальную тягу, способствуют проникновению аэрозолей до высот стратосферы на большой площади, что приводит к сильному рассеянию и поглощению солнечного излучения. При этом образуется мощный поглощающий (экранирующий) слой. Масса аэрозолей может составлять ~ 10 – 100 кт. Время нахождения аэрозолей в стратосфере составляет десятки суток, что приводит к значительным экологическим последствиям. Важным является факт возможности стимуляции вторичных, значительно более энергичных, процессов. Они связаны с рассеянием аэрозолями и поглощением сажей солнечного излучения. Энергия вторичных процессов на $3 \div 5$ порядков превосходит энергию первичного источника. Возникающие возмущения распространяются на расстояния ~ 1000 км и охватывают, по-видимому, кроме нижней атмосферы, ионосферу и магнитосферу [6]. В результате экранирования солнечного излучения земная поверхность недополучит, например, за 10 суток пожара около 10^{23} Дж энергии. Примерно такая же энергия выделится в атмосфере. Такие нарушения энергетического баланса имеют заметное значение для земной по-

верхности и для атмосферы. Важно, что проявление экологических последствий будет заметным (и часто существенным и необратимым) далеко за пределами зоны пожара и в течение длительного времени после него.

Изменения приземного атмосферного электрического поля. Изменения приземного атмосферного электрического поля в регионе крупного пожара будут приводить к изменениям проводимости слоя атмосферы вблизи поверхности Земли на значительной площади. Поскольку этот слой атмосферы имеет наибольшее сопротивление в глобальной электрической цепи, то будут иметь место возмущения электрических параметров этой цепи, которые приведут к ряду вторичных процессов в атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли [4, 6]. Последние, в свою очередь, влияют на околоземную среду в глобальных масштабах. Не исключено, что их влияние на среду обитания может быть существенным.

Генерация и усиление электромагнитных и акустических волновых процессов. В результате генерации и усиления электромагнитных и акустических волновых процессов в регионе пожара поток мощности волнового излучения возрастает в сотни раз. Например, согласно [6] поток мощности акустического излучения в естественных условиях составляет $P_{a0} \approx 0.3-1$ МВт/м². На площади в 50 км² будем иметь мощность акустического излучения $P_{a0} = P_{a0}S \approx 15 - 50$ кВт. При пожаре на такой же площади мощность акустического излучения возрастает до $P_a \approx 10$ МВт. Отметим, что $P_a \gg P_{a0}$. Большая часть энергии акустического излучения приходится на долю низкочастотных АГВ, которые эффективно проникают на высоты ионосферы до 300 км, диссипируют и играют заметную роль в изменении динамического режима средней и верхней атмосфер Земли.

4. Заключение

1. Таким образом, крупные пожары площадью не менее 2000 – 5000 га приводят к заметным, часто существенным и необратимым изменениям в системе Земля-приземная атмосфера-ионосфера. Проявление их в этой системе комплексное: они сильно влияют на экологическую обстановку, на распределение атмосферного электричества, на параметры глобальной электрической цепи, на тепловой баланс в атмосфере и ее динамику.

2. Вблизи зоны крупного пожара атмосферное электрическое поле в десятки-сотни раз превышает фоновое значение, может составлять $|E_z| \approx 10^3$ В/м и приводить к изменениям напряженности поля на ионосферных высотах и к регистрируемым возмущениям концентрации электронов.

3. Возрастание на один-два порядка тропосферной проводимости над регионом пожара посредством тропосферно-мезосферных электрических связей приводит к падению напряженности мезосферного электрического поля, что может приводить к быстрому изменению условий распространения радиоволн в нижней ионосфере над регионом.

4. Крупные пожары могут приводить к стимуляции вторичных, значительно более энергичных, процессов в глобальных масштабах. Они связаны с рассеянием солнечного излучения продуктами, выброшенными в стратосферу, Энергия вторичных процессов на 3 ÷ 5 порядков превосходит энергию первичного источника. Проявление экологических последствий будет заметным (и часто существенным и необратимым) далеко за пределами зоны пожара и в течение длительного времени после него.

Список литературы

- [1] Гостинцев Ю.А., Иванов Е.А., Копылов Н.П. и др. Волновые возмущения атмосферы при больших пожарах // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19. № 4. С. 62-64.
- [2] Смирнов В.В. Ионизация в тропосфере. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 312 с.
- [3] Пулинец С.А., Хегай В.В., Боярчук К.А. и др. Атмосферное электрическое поле как источник изменчивости ионосферы // УФН. 1998. Т. 168. № 5. С. 1022-1029.
- [4] Ким В.П.В., Хегай В.В., Иллич-Свитыч П.В. Возможные эффекты в E-области ионосферы перед сильными землетрясениями // В сб.: Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений. 1999. Вып. 1. С. 87-93.
- [5] Martynenko S.I., Clifford S.F. On the electrical coupling between the troposphere and the mesosphere // International Journal of Geomagnetism and Aeronomy, GI. 2007. V. 6. Pp. 1-6.
- [6] Черногор Л.Ф. Физические процессы в околоземной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (2003 г.) // Космічна наука і технологія. 2003. № 2/3. С. 13-33.

References

- [1] Gostintsev Yu.A., Ivanov E.A., Kopylov N.P., et al. [Wave indignations of the atmosphere at heavy fires]. *Fizika goreniya i vzryva*, 1983, vol. 19, no. 4, pp. 62 -64. (In Russian).
- [2] Smirnov V.V. *Ionization in the troposphere*. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992, 312 p. (In Russian).
- [3] Pulinetz S.A., Hegay V.V., Boyarchuk K.A. et al. [Atmospheric electric field as source of variability of an ionosphere]. *UFN*, 1998, vol. 168, no. 5, pp. 1022 - 1029. (In Russian).
- [4] Kim V.P., Hegay V.V., Illich-Svitych P.V. *Creation of models of development of seismic process and harbingers of earthquakes: sbornik nauchnykh trudov* [Possible effects in the E-area of an ionosphere before strong earthquakes]. 1999, Vyp. 1, pp. 87 - 93. (In Russian).
- [5] Martynenko S.I., Clifford S.F. On the electrical coupling between the troposphere and the mesosphere. *International Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, GI. 2007, vol. 6, pp. 1-6.
- [6] Chernogor L.F. [The physical processes in the near-earth environment accompanying military operations in Iraq (2003)]. *Komichna nauka i tekhnologiya*. 2003, no. № 2/3, pp. 13 - 33. (In Russian).