

УДК 533.9:550.388

## **О возможных вариациях электрических характеристик атмосферы в районах крупных пожаров, атмосферно-ионосферном электрическом взаимодействии и экологических эффектах**

*Гоков А. М.*

*Харьковский национальный экономический университет, 61001, Харьков,  
пр. Ленина 9а  
e-mail: amg\_1955@mail.ru*

### **Введение**

Крупные пожары различной этиологии (пожары лесных массивов, торфяников, нефтяных и газовых комплексов и др.) часто имеют место на нашей планете, охватывают большие площади (сотни–тысячи кв. километров) и временные интервалы (десятки дней). Они приносят не только огромный экологический вред, но и сильно модифицируют приземную атмосферу, существенно изменяют её электрические характеристики, вызывают ряд волновых процессов (волновые возмущения в атмосфере во время крупных пожаров рассмотрены, например, в [1 – 5]). Это относится как к самой плазме (часто эту часть пожаров называют «термиком» (см., например, [6])), так и дымовому шлейфу (облаку). 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, на высотах в Е-области ионосферы [7 – 10]), нарушению радиосвязи и ряду других проблем.

В результате пожаров в атмосферу попадает огромное количество пепла и других частиц. Пепел влияет на электрическое поле приземной атмосферы, поскольку в результате прилипания малых ионов, дисперсии и трения эти частицы приобретают электрический заряд и у поверхности Земли образуется обширный и плотный слой с большим не скомпенсированным зарядом, который может существенно изменять градиент потенциала приземного электрического поля, что приводит к формированию ионизированного слоя у поверхности Земли на площадях в десятки квадратных километров толщиной в десятки-сотни метров и более.

В настоящей работе рассмотрены основные характеристики крупных пожаров, на основе предварительной модели объемного распределения средней массовой концентрации дымового аэрозоля приведены формулы для оценки возмущений электрических характеристик приземного слоя атмосферы. Приведена возможная модель атмосферно-ионосферного взаимодействия, кратко проанализированы основные механизмы передачи возмущений из нижней атмосферы в ионосферу и магнитосферу, рассмотрены вероятные экологические эффекты.

### **1. Общие сведения**

Параметры пожара зависят от его площади, типа горючих материалов (лесной массив, постройки, торф, нефтяные и газовые скважины, разливы нефтяного топлива на поверхности Земли или моря и др.), их насыщенности, рельефа местности, времени года, метеорологических условий.

Типичный крупный лесной пожар охватывает площадь  $S \approx 2000 - 5000$  га и продолжается  $\Delta t \sim 1 - 10$  суток (заметим, что дальнейшие рассуждения и оценки применимы и к пожарам другой этиологии). Удельная масса горючих материалов таких пожаров  $\tilde{m} \approx 20 - 40$  кг/м<sup>2</sup> [11].

Средний поток тепла  $\Pi_T$  и средний поток мощности  $\Pi_P = \Pi_T / \Delta t$  составляют [11]:

$$\Pi_T = \varepsilon_T \tilde{m}, \quad \Pi_P = \frac{\Pi_T}{\Delta t}.$$

При средней продолжительности горения  $\Delta t = 10$  суток, удельной теплоте сгорания горючих материалов  $\varepsilon_T = 4 \cdot 10^7$  Дж/кг получим  $\Pi_T \approx 1,6 \cdot 10^9$  Дж/м<sup>2</sup> и среднесуточное значение  $\Pi_P = 1,6 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>. Полученные оценки значений  $\Pi_P$  позволяют заключить, что подобные пожары могут порождать у поверхности Земли интенсивную атмосферную конвекцию продуктов сгорания и огненные смерчи, которые развиваются при  $\Pi_P > \Pi_{P_{\min}} \approx 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> [11], подъем дыма, сажи и пыли на значительные высоты.

Энергия и мощность пожара могут быть оценены как  $E = \varepsilon_T m$ ,  $P = E / \Delta t$  (здесь  $m$  - масса сгоревшего вещества). При длительности пожара около 10 дней и оценочной массе сгоревшего вещества  $m \approx 15000$  т значения  $E$  и  $P$  составят около 600 ТДж и 7 ГВт. Количество выделившегося тепла при этом составляет  $Q \approx 500$  ТДж. Заметим, что масса дыма при пожаре обычно определяется как  $m_1 = 0,1 \cdot m$  и для рассматриваемого случая составляет 1500 т.

Интенсивное горение на значительных площадях, как правило, сопровождается медленным и часто сменяется тлением. Это способствует выделению большого количества сажи  $S$  и угарного газа  $CO$ . Можно полагать, что масса  $CO$  составляет около 10 % массы сгоревшего вещества [11], т.е. около 1500 т. Масса сажи при этом близка к 5 % от массы горючих материалов [11] и составит около 750 т.

Известно, что большие пожары сопровождаются генерацией акустического излучения в широком диапазоне частот [1 – 4]. Мощность такого излучения определяется долей мощности  $\eta_a$ , преобразуемой в мощность акустического излучения  $P_a$ . Обычно на основании наблюдений [1 – 4] полагают  $\eta_a \approx 0,3\%$ . При  $P = 7$  ГВт 65 имеем  $P_a \approx 0,2$  ГВт.

Пульсирующие огненные факелы в районе пожара генерируют шумовое электромагнитное излучение в широком диапазоне частот  $\sim 1$  Гц – 100 МГц с сильно неравномерным шумоподобным спектром, в котором есть также выделенные спектральные составляющие. К ним относятся собственные частоты атмосферы:

$$\omega_a = \sqrt{\frac{\gamma_a g}{4H_a} \left(1 - \frac{H_a}{H_T}\right)}, \quad \omega_b = \sqrt{\frac{g}{H_a} \left(\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a} - \frac{H_a}{H_T}\right)},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $H_a \approx 8$  км – приведенная высота атмосферы,  $\gamma_a = 1,4$  – отношение удельных теплоемкостей (показатель адиабаты),  $H_T = -T_a dz / dT_a$  – масштаб изменения температуры атмосферы  $T_a$ . Оценки дают  $\omega_a \approx 1,9 \cdot 10^{-2}$  с,  $\omega_b = 1,2 \cdot 10^{-2}$  с. При этом  $f_a = \omega_a / 2\pi \approx 3 \cdot 10^{-3}$  Гц,  $f_b = \omega_b / 2\pi \approx 1,9 \cdot 10^{-3}$  Гц. [12].

Кроме этого, при пожарах возможна генерация колебаний, вызванных обтеканием ветра поверхности факела пламени или термика с частотами [1, 12]

$f_r = \frac{v}{d} St^{-1} \approx 0,21 \frac{v}{d}$ , где  $St$  – число Струхала,  $v$  – скорость ветра,  $d$  – условный диаметр факела или термика. Например, для отдельного факела при  $d = 100$  м,  $v = 1 - 10$  м/с имеем  $f_r \approx 0,002 - 0,02$  Гц.

В пределах факела или термика имеет место сильная турбулизация газа, что также способствует излучению акустических волн с характерными частотами  $f_t \approx$

$v_t/d \approx 0.1 - 1$  Гц [13], где  $v_t \approx 1 - 100$  м/с – средняя скорость турбулентного потока, зависящая от величины и интенсивности пожара.

Вследствие преобразования энергии атмосферного электрического поля в энергию низкочастотного электромагнитного излучения возможны также генерация или усиление излучения в низкочастотной части радиодиапазона [14].

## 2. Модель атмосферно-ионосферного взаимодействия

Предварительная 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 закону. Начало прямоугольной декартовой системы координат находится в условной середине линии пожара, - ось ОУ; направление среднего ветра совпадает с положительным направлением оси ОХ, ось ОZ - вертикальна поверхности Земли. Заметим, что зона плазмы (горения), как правило, занимает меньшую площадь, чем объемная зона дымового аэрозоля и поэтому в качестве основного источника 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 определяется в основном турбулентными характеристиками атмосферы. Это, по видимому, справедливо, поскольку, как показали оценки, другие процессы, – осаждение ионов воздуха на заряженные частицы, кулоновские взаимодействия и др., – не оказывают существенного влияния.

Распределение объемного заряда аэрозоля может быть получено из формулы для распределения  $\langle M \rangle(x, y, z)$ . По известному распределению плотности  $\rho(x, y, z)$  объемного заряда можно рассчитать напряженность  $E(x, y, z)$  электрического поля в произвольной точке пространства, окружающего дымовой шлейф пожара.

В рассматриваемом случае для описания изменений массовой концентрации аэрозоля воспользуемся моделью флуктуирующей струи Гиффорда с привлечением гипотезы лагранжевых характеристик турбулентности [15].

Здесь уместно отметить, что в нижней тропосфере ( $z < 4$ км) находится до 80 – 90 % аэрозольных частиц от их общего содержания до высот в 30 км [16, 17]. Из них примерно 10% приходится на антропогенные источники, до 30 – 40 % – на солевые частицы морского происхождения и 30 – 40 % – на аэрозоли, генерируемые поверхностью Земли. В рассматриваемом случае в регионе пожара общее количество аэрозольных частиц существенно повышается и процент аэрозолей, возникающих в результате горения, от общего их числа может, достигать 80 – 90 % [18].

Выражение для средней концентрации  $\langle M \rangle(x, y, z)$  дымового аэрозоля в рассматриваемом случае подобно [15] может быть описано выражением (как и в [15] оно получено для непрерывного точечного источника, приподнятого на эффективную высоту  $z^*$ ):

$$\langle M \rangle(x, y, z) = \frac{K_u Q e^{-y^2/2\sigma_y^2}}{2\pi \frac{dx}{dt} \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \left[ e^{-\frac{(z-z^*)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+z^*)^2}{2\sigma_z^2}} \right], \quad (1)$$

здесь  $\frac{dx}{dt} = u$  – средняя скорость ветра (обычно  $u \approx 1 - 20$  м/с),  $\sigma_y(x)$  и  $\sigma_z(x)$  – абсолютные дисперсии координат вдоль соответствующих осей,  $Q$  – производительность непрерывного точечного источника в граммах за секунду,  $K_u$  – коэффициент использования в генераторе аэрозоля [19]. Мы полагаем так же на основе визуаль-

ных наблюдений, что средняя скорость ветра существенно больше скорости распространения зоны пожара по координате  $y$ .

Поскольку эволюция дымового шлейфа в модели определяется в основном турбулентными характеристиками атмосферы, то для оценки возмущений электрических характеристик приземного слоя атмосферы по аналогии с (1) можно записать выражение для распределения объемного заряда аэрозоля

$$\rho(x, y, z) \approx \frac{I_0 e^{-y^2/2\sigma_y^2}}{2\pi \frac{dx}{dt} \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \left[ e^{-\frac{(z-z^*)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+z^*)^2}{2\sigma_z^2}} \right], \quad (2)$$

Зная распределение плотности заряда  $\rho(x, y, z)$  можно рассчитать напряженность поля в любой точке пространства вблизи очага пожара.

Потенциал электрического поля в точке  $(x_1, y_1, z_1)$  в рассматриваемой системе координат может быть записан в виде

$$\varphi(x_1, y_1, z_1) = 4 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\rho(x, y, z)}{\sqrt{(x-x_1)^2 + y^2 + (z-z_1)^2}} dx dy dz. \quad (3)$$

Здесь учтена симметричность  $\rho$  по оси  $y$ . Вблизи поверхности Земли силовые линии электростатического поля  $E$  имеют преимущественно нормальную составляющую  $E_z$  и тогда:

$$E_z(x_1) = - \left. \frac{d\varphi}{dz_1} \right|_{z_1 \rightarrow 0}.$$

Для получения аналитического решения для  $E_z(x_1)$  полагаем, что все дымовые частицы сосредоточены в эллиптическом конусе с размерами по осям  $y$  и  $z$ , равными  $\approx \sigma_y(x)$  и  $\approx \sigma_z(x)$  и что внутри конуса при фиксированном  $x_1 > z^*$  значение  $\rho$  зависит от координаты  $x$ , а пределы интегрирования аналогично [20] можно выбирать  $x_1/2$  и  $3x_1/2$ . Тогда выражение для  $E_z(x_1)$ , пригодное для проведения оценок, может быть как и в [20] представлено в виде:

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

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

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 сопоставимо по величине с его изменениями во время пылевых бурь [21].

Приведенное выше выражение (4) позволяет сделать оценки  $E_z$ : для  $x_1 = 1 \text{ м}$   $E_z \approx \cdot 10^3 \text{ В/м}$ , для  $x_1 = 100 \text{ м}$   $E_z \approx 50 \text{ В/м}$ .

Полученная оценка возмущений  $E_z$  сравнима по величине с экспериментальными изменениями  $E_z$  перед сильными землетрясениями [22, 23].

Вопросы передачи возмущений из нижней атмосферы в ионосферу и магнитосферу пока еще мало изучены.

Рассмотрим кратко основные механизмы (каналы).

*Возмущение вертикального электростатического поля.*

В [10, 24] выполнен расчет проникновения в ионосферу электрического поля, генерируемого локальной областью в приземном слое атмосферы (рассмотрен случай поля сейсмического источника) и показано, что эффективность проникновения поля ночью выше, чем днем, и сильно зависит от размера области локализации вертикального поля  $E_z$ . Напряженность электрического поля на ионосферных высотах имеет заметное значение (0,3 – 0,7 В/м) только для крупномасштабных источников с характерным размером  $\geq 100$  км при условии, что в эпицентре величина  $|E_z| \approx 10^3$  В/м. Как видно из приведенных выше оценок такие поля являются реальными в зоне очень крупного пожара. Поэтому можно говорить о том, что рассматриваемый источник может приводить к изменениям напряженности  $E_z$  поля на ионосферных высотах (и к регистрируемым радиофизическими методами возмущениям концентрации электронов на этих высотах) посредством проникновения электрического поля, генерируемого локальной областью очень крупного пожара в приземном слое атмосферы.

*Изменения плотности атмосферного газа.*

Ранее было отмечено, что большие пожары сопровождаются генерацией акустического излучения в широком диапазоне частот, суммарная мощность которого возрастает в сотни раз по сравнению с невозмущенными условиями [1 – 4]. Изменения плотности атмосферного газа у поверхности Земли в регионе пожара, которые мы рассмотрели выше, достаточно эффективно проникают до высот ионосферы, т.е. происходит 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 (см., например, [1 – 4, 9, 25]) (происходит их усиление или генерация). Акустические эффекты вследствие пожаров могут иметь не только локальные последствия, поскольку при распространении вверх ВГВ, диссипируют на высотах 100 – 250 км и изменяют при этом динамический режим средней и верхней атмосфер.

Отметим, что выполнить конкретные оценки для этого механизма представляется достаточно сложной задачей и не является предметом данного исследования.

*Возмущения параметров глобальной электрической цепи.*

Пожары существенно изменяют электрические свойства приземной атмосферы. Проводимость огненного факела пожара и горячего воздуха над ним значительно выше, чем проводимость воздуха вне очага пожара. Большая пространственная протяженность очага пожара приводит к заметному увеличению тока проводимости в возмущенных областях атмосферы, поскольку, как известно, приземный слой атмосферы имеет наибольшее сопротивление в глобальной электрической цепи. Поэтому передача возмущений в ионосферу может осуществляться также в результате возмущения параметров глобальной электрической цепи (см., например, [10, 26 – 28]) в результате выброса больших масс наэлектризованных продуктов горения. Характерное время, по-видимому, может составлять  $\sim 10^3 - 10^4$  с.

Атмосферно-ионосферное электрическое взаимодействие в области крупных пожаров будем рассматривать по методике [29]. Оно основано на представлении мезосферы в качестве активного элемента глобальной атмосферной электрической цепи. Для анализа электродинамических тропосферно-ионосферных связей используем модель тропосферно-мезосферной электрической цепи с параметрами: источник мезосферного тока с плотностью тока  $j_m \approx 10^{-9} \dots 10^{-8}$  А/м<sup>2</sup>, вызывающий возмущения температуры и эффективной частоты соударений электронов до порядка величины; локальное приземное сопротивление  $R_i$ ; локальное сопротивление  $R_m$  мезосферного источника; внешнее сопротивление глобального слоя атмосферы ме-

жду поверхнею Землі і нижньої границею іоносфери  $R_a \approx 200$  Ом. В невозмущених атмосферних умовах густина струму розрядки глобального конденсатора (т.е. густина струму "ясної" погоди [30])  $j_a \approx 10^{-12}$  А/м<sup>2</sup> і  $j_m \gg j_a$ , тому при наявності  $j_m$  величиною  $j_a$  можна пренебегать. В невозмущених умовах  $R_t \gg R_m \gg R_a$  і тому загальне опір навантаження мезосферного джерела струму  $R_i = R_m R_t / (R_m + R_t) \approx R_m$ , т.е. електричні тропосферно-мезосферні зв'язки не проявляються [29, 31].

В возмущених умовах в регіоні над крупними пожарами опір  $R_t$  може зменшуватися на порядок і більше, співвідношення між  $R_t$  і  $R_m$  змінюється, тому змінюється і  $R_i$ . Наприклад, при зменшенні  $R_t$  до двох порядків  $R_t \ll R_m$ , а  $R_i \approx R_t$ . Тоді різниця потенціалів  $U$  в мезосфері, визначаюча напруженість  $E$  мезосферного електричного поля, стає залежною від  $R_t$ . Зменшення ж  $R$  і  $R_t$  призводить до відповідного зменшення  $E$  і, як наслідок, до зниження температури електронів  $T_e$  в мезосфері через підвищення провідності тропосфери (вплоть до невозмущених значень). Тому при наявності над областю крупних пожарів потужних мезосферних електричних полів можлива реалізація такого механізму [29]. Зростання на один-два порядки тропосферної провідності над регіоном за допомогою тропосферно-мезосферних електричних зв'язків призводить до падіння напруженості мезосферного електричного поля, що викликає швидке релаксационне зниження температури  $T_e$  і ефективної частоти зіткнень електронів  $\nu_e$  і відповідне зменшення провідності мезосфери. Останній ефект може призводити до швидкого змінюванню умов розповсюдження радіоволн в нижній іоносфері над регіоном. Значительне зменшення електричного потенціалу в мезосфері над районом пожара може викликати зменшення різниці мезосферних потенціалів між районом пожара і віддаленим районом спостереження, що еквівалентно зменшенню напруженості мезосферного електричного поля над районом спостереження. Тому можливо розвиток возмущеної мезосферної плазми і над районом спостереження, реєструваних радіофізическими методами [29].

#### *Усилення атмосферної конвенції і турбулентності*

В регіоні пожара відбувається суттєве посилення атмосферної конвенції, розвивається атмосферна турбулентність, яка має місце і на достатньо великих висотах [32]. В результаті цього відбувається збільшення конвекційного струму, внаслідок чого можлива передача возмущень в іоносферу (см., наприклад, [32]). Характерне час переносу, по-видимому, ~1–10 діб. Відзначимо, що найбільш ймовірним підтвердженням цього механізму є експериментальні дані, отримані в [7–8] в час військових дій в Персидському заливі і в Косово. Цей механізм передачі возмущень також потребує в подальшому дослідженні.

### **3. Екологічні ефекти**

Під екологічними ефектами, як правило, розуміють помітні відхилення параметрів навколишнього середовища від природних невозмущених значень, які надають негативний вплив на флору і фауну планети. Тут особливо потрібно відзначити, що умови крупних пожарів характеризуються відносною довготривалістю факторів, що впливають на середовище проживання.

Екологічні наслідки крупних пожарів пов'язані з:

- 1) масовими викидами в приземну атмосферу продуктів горіння (дим і сажа);
- 2) змінами приземного атмосферного електричного поля і

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 мелкой пыли, дыма и сажи, которые экранируют солнечное излучение.

Сильные пожары в регионе, создавая мощную вертикальную тягу (скорость потоков воздуха достигает  $\sim 10$  м/с), способствуют проникновению аэрозолей, состоящих из дыма и сажи (углерод), до высот стратосферы на большой площади. Дым и сажа приводят соответственно к сильному рассеянию и поглощению солнечного излучения. При этом образуется мощный поглощающий (экранирующий) слой. Масса аэрозолей может составлять  $\sim 10 - 100$  кг. Время нахождения аэрозолей в стратосфере составляет десятки суток, что приводит к значительным экологическим последствиям.

Важным является факт возможности стимуляции вторичных, значительно более энергичных, процессов. Об этом впервые обоснованно отмечено автором [12, 33]. Они связаны с рассеянием аэрозолями и поглощением сажой (продуктами горения, выброшенными в стратосферу) солнечного излучения, а значит частичным экранированием земной поверхности.

Энергия вторичных процессов на  $3 \div 5$  порядков превосходит энергию первичного источника. Как показано в [7, 8], возникающие возмущения распространяются на расстояния  $\sim 1000$  км и охватывают, по-видимому, кроме нижней атмосферы, ионосферу и магнитосферу. 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 поверхности 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, как отмечено выше, 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 целому ряду вторичных процессов в атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли [10, 12, 14, 26 – 28, 33 – 34]. Последние, в свою очередь, влияют на околоземную среду в глобальных масштабах. Предсказать их влияние на среду обитания трудно, однако, не исключено, что оно 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 по сравнению с невозмущенными условиями [1 – 4]. Например, согласно [9] поток мощности акустического излучения в естественных условиях составляет  $\Pi_{a0} \approx 0.3-1$  МВт/м<sup>2</sup>. На площади в 50 км<sup>2</sup> будем иметь мощность акустического излучения  $P_{a0} = \Pi_{a0}S \approx 15 - 50$  кВт. При пожаре на такой же площади мощность акустического излучения возрастает до  $P_a \approx 10$  МВт (оценки выполнены по методике [12]). Отметим, что  $P_a \gg P_{a0}$ . Большая часть энергии акустического излучения приходится на долю низкочастотных АГВ, т.е. ВГВ, которые, как отмечалось ранее, эффективно проникают на высоты ионосферы (до 200 – 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. Средние мощность и энерговыделение крупного пожара достигают  $1 - 10^2$  ГВт и  $10^2 - 10^3$  Тдж соответственно.

2. Вблизи зоны крупного пожара атмосферное электрическое поле в десятки-сотни раз превышает фоновое значение и может составлять  $|E_z| \approx 10^3$  В/м. Возмущение вертикального электростатического поля может приводить к изменениям напряженности  $E_z$  поля на ионосферных высотах (и к регистрируемым радиофизическими методами возмущениям концентрации электронов на этих высотах) посредством проникновения электрического поля, генерируемого локальной областью очень крупного пожара в приземном слое атмосферы.

3. Возрастание на один-два порядка тропосферной проводимости над регионом пожара при наличии над этой областью мощных мезосферных электрических полей 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. Значительное изменение электрического потенциала в мезосфере над районом пожара может вызывать изменение разности мезосферных потенциалов между регионом пожара и удаленным районом наблюдения, поэтому возможно развитие возмущений мезосферной плазмы и над районом наблюдения, регистрируемых радиофизическими методами.

4. В результате генерации и усиления электромагнитных и акустических волновых процессов в атмосфере в зоне и над регионом пожара поток мощности волнового излучения возрастает в сотни раз по сравнению с невозмущенными условиями. Большая часть энергии акустического излучения приходится на долю низкочастотных АГВ, которые, эффективно проникают на высоты ионосферы (до 200 – 300 км), диссипируют и играют заметную роль в изменении динамического режима средней и верхней атмосфер Земли.

5. Крупные пожары могут приводить к стимуляции вторичных, значительно более энергичных, процессов в глобальных масштабах. Они связаны с рассеянием солнечного излучения продуктами горения (а значит частичным экранированием земной поверхности), выброшенными в стратосферу. Энергия вторичных процессов на  $3 \div 5$  порядков превосходит энергию первичного источника. Такие нарушения энергетического баланса имеют заметное значение для земной поверхности и для атмосферы. 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., Шацких Ю.В. Инфразвуковые волны в атмосфере при больших пожарах // ДАН. 1983. Т. 271. № 2. С. 327 – 330.
2. Гостинцев Ю.А., Иванов Е.А., Копылов Н.П., Шацких Ю.В. Волновые возмущения атмосферы при больших пожарах // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19. № 4. С. 62 – 64

3. Гостинцев Ю.А., Иванов Е.А., Анисимов С.В., Педанов М.В., Куличков С.Н., Мордухович М.И., Копылов Н.П., Шацких Ю.В., Русаков Н.Н. О механизме генерации инфразвуковых волн в атмосфере большими пожарами // ДАН. 1985. Т. 283. № 3. С. 573 – 576.
4. Соловьев А.В., Тельпуховский Е.Д. Исследования инфразвуковых колебаний давления при маломасштабных пожарах // Изв. вузов. Физика. 2001. № 1. С. 91 – 93.
5. Гостинцев Ю.А., Копылов Н.П., Суханов Л.А., Солодовник А.Ф., Лазарев В.В., Шацких Ю.В., Мотин М.А. Горение нефти на водной поверхности (крупномасштабный эксперимент) // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19. № 4. С. 36 – 39.
6. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М.: Гидрометеиздат, 1986.
7. Похотелов О.А., Липеровский В.А., Фомичев Ю.П., Рубцов Л.Н., Алимов О.А., Шарадзе З.С., Липеровская Р.Х. Модификация ионосферы во время военных действий в зоне Персидского залива // Докл. АН. 1991. Т. 321. № 6. С. 1168 – 1172.
8. Адушкин В.В., Горелый К.И. Доплеровское зондирование ионосферы над Югославией во время военных действий в Косово // Докл. АН. 2000. Т. 373. № 1. С. 87 – 89.
9. Пономарев Е.А., Ерущенков А.И. Инфразвуковые волны в атмосфере Земли. (Обзор) // Изв. вузов. Радиофизика. 1977. Т. 20. № 12. С. 1773 – 1789.
10. Пулинец С.А., Хегай В.В., Боярчук К.А., Ломоносов А.М. Атмосферное электрическое поле как источник изменчивости ионосферы // УФН. 1998. Т. 168. № 5. С. 582 – 589.
11. Питток Б., Акермен Т., Крутцен П., Мак-Кракен М., Шапиро Ч., Турко Р. Последствия ядерной войны. Физические и атмосферные эффекты. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 392 с.
12. Черногор Л.Ф. Физические процессы в околоземной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (март – апрель 2003 г.) // Космічна наука і технологія. 2003. №2/3. С.13–33.
13. Липеровская Р.Х. Модификация ионосферы во время военных действий в зоне Персидского залива // ДАН. 1991. Т. 321. № 6. С. 1168 – 1172.
14. Nickolaenko A.P. The rocket flare as a fair weather field converter into low frequency emission // J. Atmos. Electr.. – 1995. – V. 15. – P. 5 – 10.
15. Гаргер Г.К. Расчет диффузионных характеристик поля концентрации невесомой примеси в приземном слое атмосферы // Труды ИЭМ. 1984. Вып. 29(103). С. 54 – 69.
16. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. – Л.: Изд-во ЛГУ. 1982. – 365 с.
17. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. – Новосибирск: Наука. 1982. – 198 с.
18. Непреднамеренные воздействия на климат / Под ред. М.И. Будыко. Л.: Гидрометеиздат. 1974. – 260 с.
19. Виснапуу Л.Ю., Смирнов В.В. Исследование систем и газовый поток – униполярные ионы – аэрозольные частицы // Труды ИЭМ. 1987. Вып. 44(134). С. 56 – 82.
20. Савченко А.В., Смирнов В.В., Уваров А.Д. Динамика шлейфа заряженных аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы // Труды ИЭМ. 1987. Вып. 44(134). С. 69 – 78.
21. Смирнов В.А. Ионизация в тропосфере. Спб.: Гидрометеиздат. 1992. 312 с.
22. Бончковский В.Ф. Изменение градиента электрического потенциала атмосферы как один из предвестников землетрясений // Тр. Геофиз. Ин-та АН СССР. 1954. №25. С.192 – 206.
23. Чернявский Е.А. Атмосферно-электрические предвестники землетрясений // Метеорология и гидрология в Узбекистане. Ташкент. 1955. С. 317 – 327.

24. Ким В.П., 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
25. Гуфельд И.Л., Гусев Г.А., Козырева О.В., Похотелов О.А., Рожной А.А. Предвестники сильных землетрясений в нижней ионосфере: экологические аспекты проблемы. Построение моделей развития сейсмического процесса и предвестников землетрясений. 1999. Вып. 1. С. 94 – 100.
26. Дмитриев Э.М., Анисимов С.В. Отклик атмосферного электрического поля на изменение проводимости в приземной атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34. № 3. – С. 97 – 103.
27. Сорокин В.М., Чмырев В.М. Электродинамическая модель ионосферных предвестников землетрясений и некоторых видов катастроф // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42. № 6. – С. 821 – 830.
28. Rycroft M.J., Israelsson S., Price C. The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2000. V. 62, P. 1563 – 1576.
29. Гоков А.М., Мартыненко С.И., Розуменко В.Т., Тырнов О.Ф. Крупномасштабные ионосферные возмущения, вызываемые удаленными землетрясениями, и мощные мезосферные электрические поля // Радиотехника. Харьков. 2002. Вып.128. С.206 – 209.
30. Фетт В. Атмосферная пыль. М.: Иностранная литература, 1961. 336 с.
31. Гоков А.М. О некоторых электрических характеристиках атмосферы в районах крупных пожаров и атмосферно-ионосферном электрическом взаимодействии. Пятая Российская конференция по атмосферному электричеству. Сборник трудов конференции. Владимир 21 – 26 сентября 2003 г. Т.1. С.156 – 158.
32. Поляков С.В., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю. О генерации электрических волн в верхней атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 1990. Т. 30. № 5. – С. 869 – 871.
33. Черногор Л. Ф. Геофизические эффекты и геоэкологические последствия массовых химических взрывов на военных складах в г. Артемовске. Геофизический журнал. 2004. Т. 26. № 4. С. 31 – 44.
34. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Спектры пульсаций электрического поля приземной атмосферы // Докл. АН. 2001. Т. 381. С. 107 – 112.