

УДК 550.596

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 2008 г.

© 2010 г. В. В. Кузнецов

Представлено академиком В.В. Адушкиным 26.03.2010 г.

Поступило 06.04.2010 г.

В сообщении приводятся результаты измерения атмосферного электрического поля (АЭП) с помощью двух электрометров “Градиент” во время полного солнечного затмения в Новосибирске 1 августа 2008 г. Полученные результаты имеют некоторую общность с аналогичными результатами, полученными ранее, однако их интерпретация сильно различается. Обсуждается модель явления, согласно которой основной фактор влияния в момент затмения – это охлаждение поверхности и нижнего слоя атмосферы. Известно, что понижение температуры приводит к увеличению АЭП. Солнечное затмение достаточно быстрый процесс, его длительность соизмерима с характерным временем проводимости атмосферы. В подобной ситуации при “разрядке конденсатора Земля–ионосфера”, кроме тока проводимости, может принимать участие ток смещения – конвективный ток. В этом случае в момент максимальной величины АЭП должна быть максимальной и производная, что регистрировалось и в нашем случае, и в большинстве предыдущих наблюдений за поведением атмосферного электрического поля в момент солнечного затмения.

Исследования эффектов в атмосферном электричестве во время солнечных затмений имеют длительную историю, однако наибольшее количество работ было опубликовано в 70–80-х годах прошлого столетия. Полученные результаты очень противоречивы как при непосредственной регистрации аномалий, так и их интерпретации, что объясняется различием используемой аппаратуры и условиями наблюдений, прежде всего метеорологических [1–7].

На рисунке 1 показаны вариации вертикальной составляющей E_z напряженности атмосферного электрического поля (АЭП) 1 августа 2008 г. в двух пунктах на территории Новосибирской геофизической обсерватории, разнесенных примерно на 1 км. Эффект затмения достаточно от-

четливо проявился в записях обоих электрометров, прежде всего, как резкий рост напряженности АЭП в фазе полного покрытия. На обоих пунктах E_z до начала затмения понижается, однако характер этого изменения несколько различается. При среднем уровне E_z в невозмущенные дни около 500 В/м аномалия во время затмения представляется чрезвычайно сильной.

Полученный результат будем интерпретировать в рамках принципиально новой модели АЭП [8], которая базируется на идее разделения зарядов в атмосфере за счет гравитационного поля. Наша модель АЭП является развитием идеи Френкеля о разделении электрических зарядов в грозовом облаке применительно к атмосфере “хорошей погоды”. Согласно модели электрические заряды в атмосфере образуются за счет ионизации ее галактическими космическими лучами (ГКЛ). Разделение зарядов происходит в гравитационном поле Земли за счет того, что отрицательные заряды конденсируют на себя пары воды более интенсивно, чем положительные, и оказываются тяжелее положительных.

Величину атмосферного электрического поля E_z можно оценить по формуле, полученной Френкелем при учете эффекта разделения зарядов на водных каплях радиусом r [9]:
$$E_z = \frac{\varepsilon_0 M g \zeta}{6\pi\eta\sigma_e},$$

где M – водность атмосферы $M = 10^{-2}$ г/м³ (в грозовом облаке $M \approx 1$ г/м³), g – ускорение силы тяжести, ζ – электрокинетический потенциал воды ($\zeta \approx 0.25$ В), η – вязкость воздуха ($\eta \approx 10^{-5}$ Па·с), σ_e – электропроводность ($\sigma_e \approx 10^{-14}$ Ом⁻¹ м⁻¹); $E_z \approx 100$ В/м (в грозовом облаке $E_z \approx 10^4$ В/м).

Согласно упрощенной и модифицированной формуле Френкеля [10], скорость конденсации ($\text{с}^{-1} \text{см}^{-3}$) $K \sim \exp\left(-\frac{3}{\ln^2 S_C} + \ln S_C\right)$, здесь S_C – пере-

сыщение пара. В режиме испарения (кипения) в системе разрушаются капли и им на смену образуются “пузыри” пара, скорость образования ко-

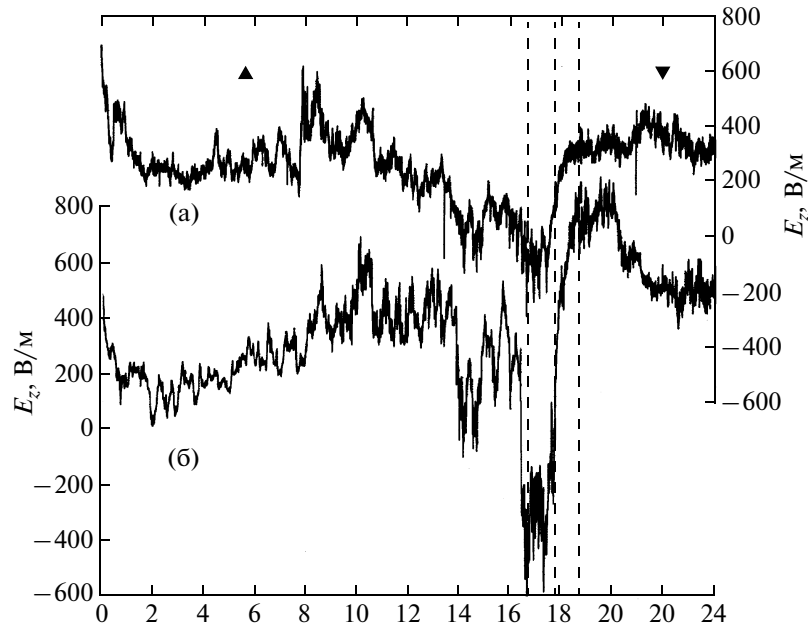


Рис. 1. Вариации атмосферного электрического поля в двух разнесенных пунктах. Треугольными маркерами показаны моменты восхода и заката, вертикальными линиями — начало, максимум и конец затмения. Местное время UT +7 ч.

торых ($\text{с}^{-1}\text{см}^{-3}$) $J \sim \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)$, где W — энергия образования пузыря критического размера (рис. 2). Отсюда следует, что при $T = T^*$, $K = J$, а $E_z = 0$. Такая ситуация теоретически может возникнуть при

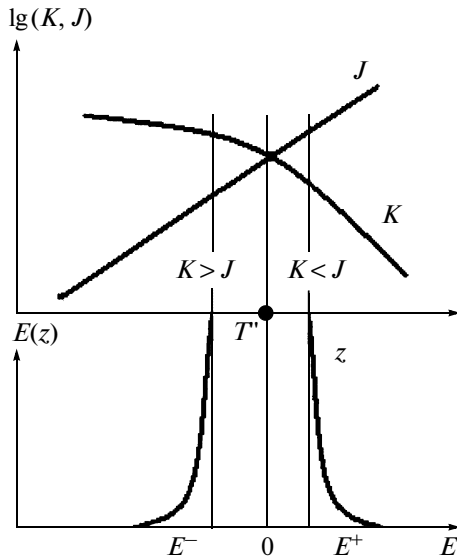


Рис. 2. Вверху — изменение логарифма скоростей конденсации K и испарения J в зависимости от температуры T . Внизу — полярность электрического поля E (от высоты) как функция отношения J и K : E^+ , когда $J > K$, и E^- , когда $J < K$.

$T^* \approx 26.5^\circ\text{C}$, т.е. при температуре зарождения циклонов в океане.

Температура поверхности Земли в течение 100 последних лет возрастает. В этой связи величина АЭП, согласно нашей модели, должна уменьшаться (рис. 2). Действительно, как показано наблюдениями в Шотландии, Шетланде [11–3] и в ряде других обсерваторий, в период с 1920 до 1980 г. было зарегистрировано ежегодное снижение АЭП (рис. 3).

Начиная с 1920 г. к настоящему времени величина E_z уменьшилась примерно вдвое: $\frac{dE_z}{dt} (E_z) \approx 2$ (со скоростью ~ 1 В/м, т.е. $\sim 1\%$ в год), в то время как температура поверхности Земли за этот же период времени выросла на $0.7\text{--}0.8^\circ\text{C}$ ($0.01^\circ\text{C}/\text{год}^{-1}$), что составляет, примерно, $\frac{dT}{dt} (T) = 0.06$, или 6% (среднегодовая температура Земли $T = 15^\circ\text{C}$). Отношение скоростей измерения параметров $\frac{T}{E} = 0.03$.

Для подтверждения модели нам следует получить теоретическую зависимость E_z от температуры T типа $E_z \sim \exp(-T)$, или $M \sim \exp(-T)$, так как $E_z \sim M$.

Водность атмосферы, иначе, интегральная масса образующихся в атмосфере капель M определяется скоростью нуклеации, т.е. скоростью роста капли. Воспользуемся формулой Зельдовича [14]: $M \sim nZ \frac{4\pi rPK}{(2\pi mkT)^{1/2}}$, n — концентрация, r — радиус,

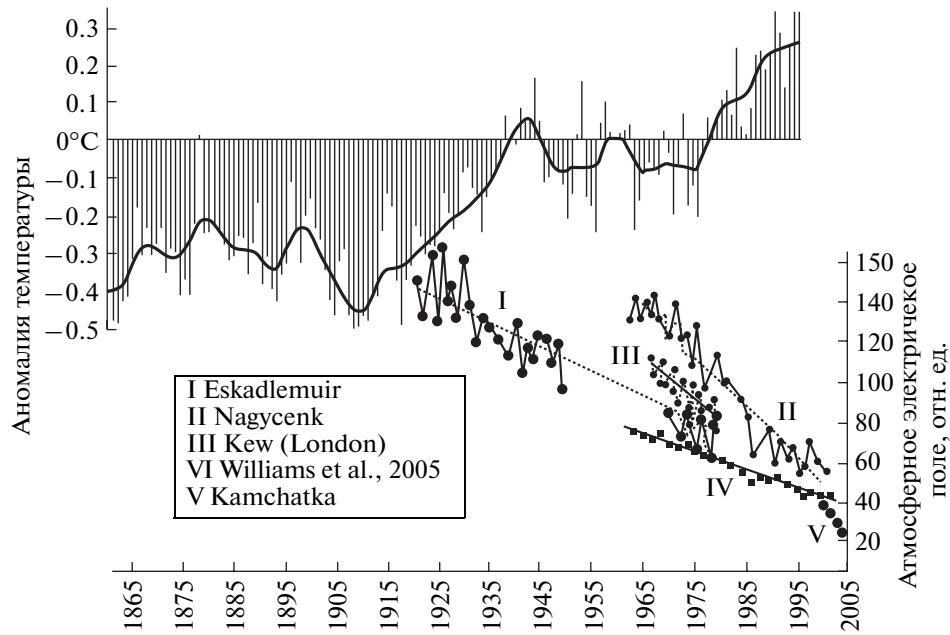


Рис. 3. Изменение глобальной температуры Земли. Уменьшение величины E_z на обсерваториях Венгрии, Великобритании [11–13] и Камчатки.

m – масса ядер конденсации, т.е. “зародышей” капель, Z – фактор Зельдовича, P – давление, K – скорость конденсации $K \sim \exp(-T)$, k – постоянная Больцмана. Учитывая зависимость E_z от температуры, получаем $M \sim T^{1/2} \exp(-T)$, или $E_z \sim T^{1/2} \exp(-T)$.

Температура поверхности Земли возрастала в течение времени наблюдения t более или менее линейно со временем: $T = at$, тогда $T = \frac{dT}{dt} = a$.

Подставим это выражение в формулу для E_z^t и получим

$$E_z^t \approx [\exp(-at)(1 + 2at)/a](at)^{3/2},$$

полагая $t = 1$, а отношение $\frac{T}{E} \approx 2a^{3/2}$. Как отмечалось, по наблюдениям $a = 0.06$, отсюда отношение $\frac{T}{E} = 0.03$, что можно рассматривать как подтверждение справедливости нашей модели.

В рамках этой простой и естественной модели находят непротиворечивое объяснение такие явления в АЭП, как унитарная вариация (кривая Карнеги), Форбуш-понижения в АЭП и эффекты терминатора, роль гроз и циклонов в формировании АЭП и т.п. Воспользуемся основными принципами этой модели для объяснения поведения АЭП во время полного солнечного затмения.

Принято считать, что текущий в атмосфере ток складывается из тока проводимости j и тока сме-

щения $\frac{\epsilon_0 \partial E}{\partial t}$. Обычно при выполнении условия

$t \gg \tau$, где t – время процесса, а $\tau = \frac{\epsilon_0}{\sigma_e}$ – время ре-

лаксации атмосферы ($\tau \approx 10^3$ с), током смещения пренебрегают. В случае наблюдения солнечного затмения условие $t \gg \tau$ не выполняется, и, по-видимому, необходимо учитывать ток смещения, тем более что во время затмения нет очевидной причины для изменений тока проводимости: $E \sim$

$\sim \sigma \left(j - \frac{\epsilon_0 \partial E}{\partial t} \right)$, где σ – проводимость среды. Как

известно, ток смещения возникает в конденсаторе ионосфера–Земля в моменты его зарядки и разрядки и обеспечивает замкнутость цепей любых непостоянных токов, что соответствует модели АЭП.

Суть нашей идеи состоит в следующем. Наблюдение вариации температуры в момент затмения позволяет представить изменение температуры нижнего слоя атмосферы в момент затмения в виде нормального распределения: $T \sim T_0 - t \exp(-t)^2$, T_0 – начальная температура, t – время. Из многих

наблюдений известно, что $E_z \sim \frac{1}{T}$. Тогда $\frac{\partial E}{\partial t} \sim$

$\sim -\frac{\partial T}{\partial t} \frac{1}{T^2}$. Полученная зависимость $E_z \sim \sigma \left(j - \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$

по форме очень близка к кривой $E(t)$, зарегистрированной в АЭП (рис. 4) в момент солнечного за-

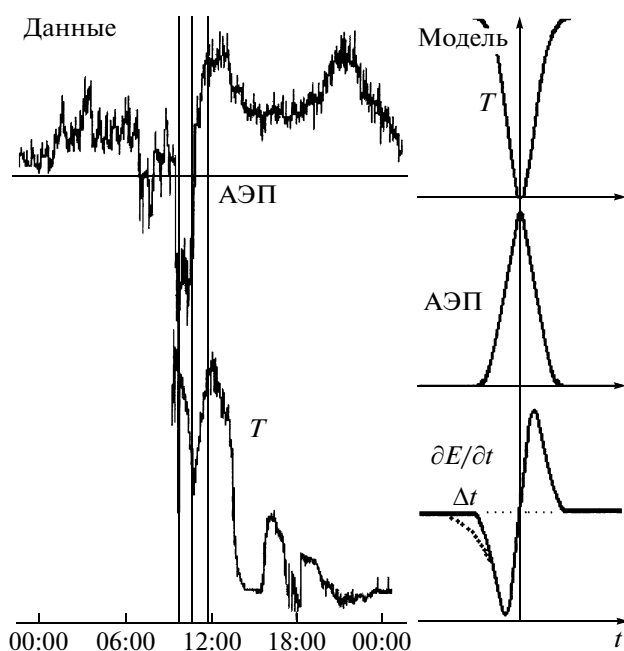


Рис. 4. Данные и модель изменения температуры поверхности, АЭП и $\partial E/\partial t$.

тнения. Здесь, как отмечалось многими авторами, максимальная скорость изменения E_z приходится на максимальное уменьшение температуры T , что соответствует фазе полного затмения. Это может означать, что в момент солнечного затмения наши приборы зарегистрировали изменение E_z , вызванное током смещения $\frac{\epsilon_0 \partial E}{\partial t}$. Неполное соответ-

ствие этой кривой наблюдаемой величине E_z означает, что искажение может быть связано с наличием некоторого изменения тока проводимости.

Перемещение пятна затмения размером примерно в 100 км происходит в районе Новосибирска за 3.5 мин. опережение начала уменьшения величины E_z относительно начала уменьшения температуры составляет $\Delta t \approx 20$ мин (см. график

$\frac{dE}{dt}$ на рис. 4). Можно считать, что электрометр начинает регистрировать изменения АЭП, происходящие на расстоянии от датчика поля ~ 800 км. Этот

результат согласуется с нашими измерениями дальнего действия АЭП, полученными при исследовании влияния на АЭП приближающегося циклона [15]. В случае солнечного затмения в Новосибирске величина дальнего действия оказалась примерно в два раза меньше, чем в случае циклонов на Камчатке.

Автор признателен Б.М. Шевцову и С.Э. Смирнову (ИКИР ДВО РАН) за интерес к работе и предоставление электрометров "Градиент", выражает благодарность И.Ю. Бабаханову (ИКИР) за проведение наблюдений АЭП во время затмения, а также особую благодарность С.Ю. Хомутову (АСФ ГС СО РАН, Новосибирск) за организацию и проведение наблюдений и многочисленные обсуждения поведения АЭП за счет токов смещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson R.V., Dolezalek H. // J. Atmos. Terr. Phys. 1972. V. 34. № 4. P. 561–566.
2. Dolezalek H. // Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A. 1972. V. 21. P. 221–245.
3. Kamra A.K., Teotia J.K.S., Sathe A.B. // J. Geophys. Res. C. 1982. V. 87. № 3. P. 2057–2060.
4. Manohar G.K., Kandalgaonkar S.S., Kulkarni M.K. // J. Geophys. Res. D. 1995. V. 100. № 10. P. 20 805–20 814.
5. Dhanorkar S., Deshpande C.G., Kamra A.K. // J. Atmos. and Terr. Phys. 1989. V. N11–12. P. 1031–1034.
6. Machalek A., Grünberger H. // Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A. 1978. № 27. P. 391–399.
7. Адушкин В.В., Гаврилов Б.Г., Горелый К.П. и др. // ДАН. 2007. Т. 417. № 4. С. 535–540.
8. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КГУ, 2008. 328 с.
9. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. М.: ГИТТЛ, 1949. 155 с.
10. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкости. Л.: Наука, 1975. 592 с.
11. Harrison R.G. // Geoph. Res. Lett. 2002. V. 29. № 14. 1660.
12. Marcz F., Harrison R.G. // Ann. Geophys. 2003. V. 21. P. 2193–2200.
13. Williams E., Markson R., Heckman S. // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L19810.
14. Зельдович Я.Б. // ЖЭТФ. 1942. Т. 12. № 11/12. С. 525–531.
15. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.Н. // ДАН. 2007. Т. 412. № 4. С. 547–551.