

© Ю. Г. Рапопорт

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Інститут космічних досліджень Національної академії наук і Національного космічного агентства України

НОВАЯ ФОТОХИМИЧЕСКИ-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМОИОНОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ВАРИАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Електростатичне поле та іоносферні параметри визначено в системі літосфера — атмосфера — іоносфера. Нова модель пояснює спостережувані варіації приземного електричного поля перед сильними землетрусами.

Введение и формулировка задачи. В течение последнего времени появились сообщения о ряде экспериментов, подтверждающих наличие электростатически-фотохимического и акусто-гравитационного каналов передачи энергии в системе литосфера — атмосфера — ионосфера (ЛАИ); примером этого являются вариации характеристик электромагнитных волн в волноводе «земля — ионосфера» перед землетрясениями. Уменьшение приземного вертикального электрического поля с изменением его знака и вариациями с характерными периодами 0.5—2 ч наблюдались перед сильными землетрясениями [3]. Приземный сторонний ток, (который может быть связан с наличием заряженных аэрозолей) с амплитудой $J_{\text{ext}} \sim 10^{-12} \dots 10^{-9}$ А/м² [8] (рис. 1) включен в настоящую трехмерную электростатически-фотохимическую модель [5] и исследованы вариации фотохимических и ионосферных параметров под влиянием электрического поля. Такие процессы описываются уравнениями [5—8]:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\hat{\sigma}\mathbf{E}) &= -\operatorname{div}\mathbf{J}_{\text{ext}}, \quad \mathbf{E} = -\nabla\varphi, \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{2}{3} \operatorname{Re}(\sigma_{ij}E_iE_j)/(N_eT_{e0}\theta) - \delta(\theta)\nu_e(\theta)(\theta - 1), \\ \theta &\equiv T_e/T_{e0}, \\ N_e/N_{e0} &\approx \sqrt{\frac{(\lambda_0\alpha_i + \alpha_{D0})(1 + \lambda_0)}{(\lambda(\theta)\alpha_i + \alpha(\theta))(1 + \lambda(\theta))}}, \\ \lambda(\theta) &\approx \beta(\theta)/\gamma. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь φ — электростатический потенциал, T_e — электронная температура, N_e — концентрация электронов, индекс «0» относится к равновесному состоянию в отсутствие стороннего тока ($\mathbf{J}_{\text{ext}} = 0$),

λ — отношение концентраций отрицательных ионов и электронов, α_i , α_D , β и γ — коэффициенты ион-ионной и диссоциативной рекомбинации, электронного прилипания и отлипания от отрицательных ионов соответственно; $\hat{\sigma}$ — тензор ионосферной проводимости в наклонном геомагнитном поле, δ — доля энергии, передаваемой при столкновении электронов с нейтралами. Принята следующая форма пространственного распределения приземного стороннего тока:

$$\begin{aligned} \mathbf{J}_{\text{ext}} &= J_{\text{ext}}\mathbf{e}_z \exp \left[-\left(\frac{z}{\Delta z}\right)^2 - \left(\frac{x-x_c}{\Delta x}\right)^2 - \left(\frac{y-y_c}{\Delta y}\right)^2 \right], \\ x_c &= y_c = 0. \end{aligned}$$

Здесь Δx , Δy , Δz — горизонтальные (в направлениях X , Y) и вертикальные (в направлении Z) масштабы пространственного распределения, \mathbf{e}_z — единичный вектор в вертикальном направлении. Заданы разность потенциалов на верхней ($Z = 150$ км) и нижней ($Z = 0$) границах и периодические граничные условия в горизонтальной плоскости [5]. Направление «тока ясной погоды» принято за положительное.

Результаты моделирования. Показано, что в отсутствие стороннего тока увеличение приземной проводимости вызывают уменьшение приземного и увеличение ионосферного вертикального электрического поля. Это качественно совпадает с результатами [4]. На основании уравнений (1) определены электрическое поле (рис. 1, б, 2, 3) и фотохимические стационарные параметры [5] (рис. 5). Для $J_{\text{ext}} = 0 \dots 10^{-10}$ А/м² зависимость приземного поля $E_{z=0}$ от J_{ext} почти линейна: $E_{z=0} = E_{z0} - \alpha J_{\text{ext}}$, где $E_{z0} \approx 93.6$ В/м, $\alpha \approx 15.3$ В·м/А. Когда J_{ext}

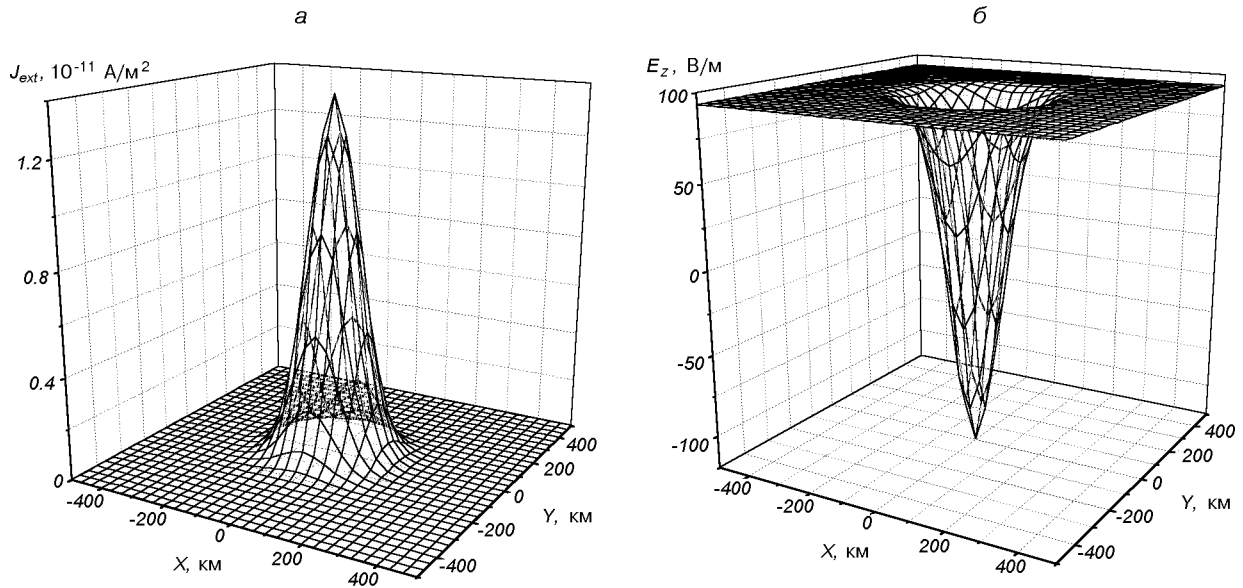


Рис. 1. Пространственное распределение стороннего тока в горизонтальной плоскости на уровне Земли (а) и — приповерхностного вертикального электрического поля (б) при отношении проводимостей $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) = 10^{-4}$, $\Delta Z = 5 \text{ км}$

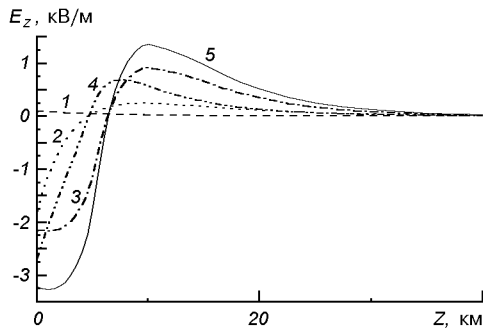


Рис. 2. Распределение по высоте Z вертикального электрического поля при $X = Y = 0$ для высот $Z = 0 \dots 40 \text{ км}$: 1 — $J_{\text{ext}} = 0$, $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) = 10^{-4}$; 2 — $\Delta Z = 5 \text{ км}$, $J_{\text{ext}} = 10^{-9} \text{ А/м}^2$, $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) = 10^{-3}$; 3 — $J_{\text{ext}} = 10^{-9} \text{ А/м}^2$, $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) = 10^{-3}$, $L(\sigma) = 5 \text{ км}$, $\Delta Z = 5 \text{ км}$; 4 — $L(\sigma) = 5 \text{ км}$, $\Delta Z = 2 \text{ км}$, $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) = 10^{-3}$, $J_{\text{ext}} = 10^{-9} \text{ А/м}^2$; 5 — $L(\sigma) = 5 \text{ км}$, $\Delta Z = 5 \text{ км}$, $J_{\text{ext}} = 1.6 \cdot 10^{-9} \text{ А/м}^2$

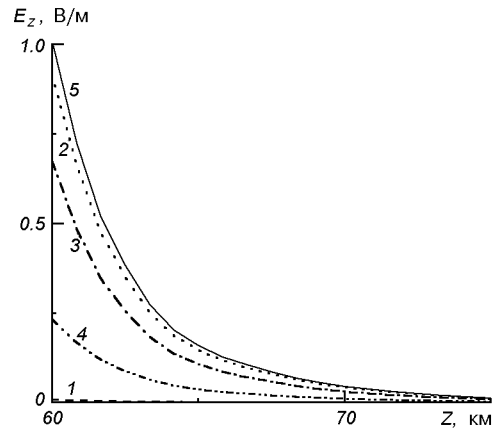


Рис. 3. То же для высот $Z = 60 \dots 75 \text{ км}$

достигает 10^{-11} А/м^2 , а отношение проводимостей при $Z = 0$ и $Z = 60 \text{ км}$, $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км}) \sim 10^{-4}$ (рис. 1) имеет место обращение знака электрического поля, что в действительности наблюдается перед сильными землетрясениями [3] (рис. 1—3). Проникновение значительного электрического поля в ионосферу (порядка 1 В/м в нижней D-области и нескольких милливольт на метр на высоту $Z = 80 \text{ км}$) (рис. 2, 3, кривые 2—5) возможно ночью при условии увеличения приземной проводимости (и отношения $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км})$ на порядок (рис. 4, кривые 2, 3). При увеличении σ на порядок на поверхности Земли и уменьшении характерного масштаба распределения $\sigma(Z)$ до $L_\sigma = 5 \text{ км}$ (кривая

2 на рис. 4), величина E_z в ионосфере уменьшается в 1.5 раз (сравните кривые 2 и 3 на рис. 3). Заметные вариации нормированных значений (рис. 5) электронной температуры T_e/T_{e0} , концентрации N_e/N_{e0} , частоты столкновений ν_{en}/ν_{en0} , статической проводимости σ_e/σ_{e0} и отношения концентраций отрицательных ионов и электронов λ_e/λ_{e0} (T_{e0} , N_{e0} , ν_{en0} , σ_{e0} и λ_{e0} относятся к стационарному состоянию при $J_{\text{ext}} = 0$) в диапазоне высот нижней атмосферы могут наблюдаться при сторонних токах с плотностями порядка 10^{-9} А/м^2 и отношении $\sigma(0)/\sigma(60 \text{ км})$ порядка 0.001. Уменьшение характерного масштаба ΔZ вертикального распределения стороннего тока ведет к заметному уменьшению

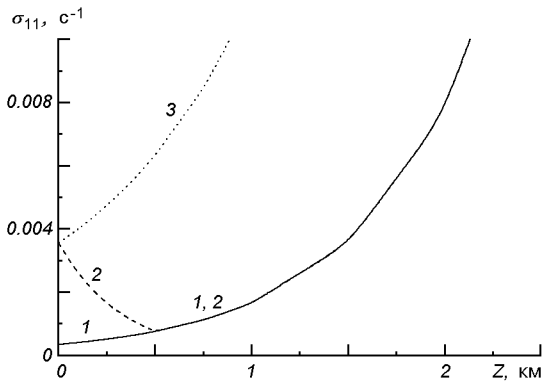


Рис. 4. Зависимость элемента тензора проводимости $\sigma_{11} = \sigma_{xx}$ от высоты Z ; в атмосфере и нижней ионосфере проводимость изотропная ($\sigma \approx \sigma_{11}$); 1 — распределение проводимости, соответствующее кривой 1 на рис. 2, 3; 2 — распределение проводимости, соответствующее кривым 3—5 на рис. 2, 3; 3 — распределение проводимостей, соответствующее кривой 2 на рис. 2, 3. При $Z > L_{\sigma} = 5$ км кривая 2 совпадает с кривой 1. Все кривые совпадают при $Z = 60$ км

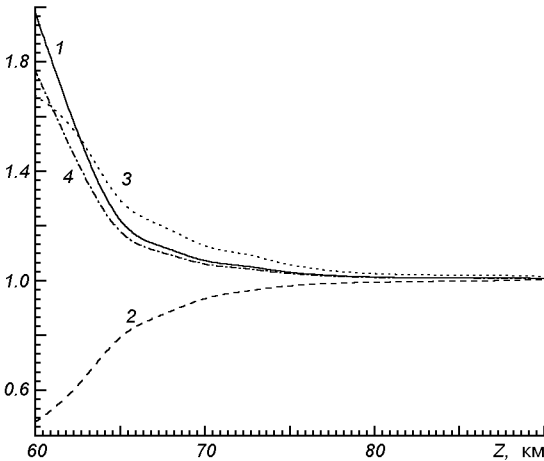


Рис. 5. Распределение по высоте Z нормированных значений: 1 — электронной температуры T_e/T_{e0} , 2 — концентрации N_e/N_{e0} , 3 — отношения λ_e/λ_{e0} концентраций отрицательных ионов и электронов, 4 — частоты столкновений ν_{en}/ν_{en0} с параметрами, соответствующими кривой 5 на рис. 2 и 3.

поля E_z , проникающего в ионосферу (ср. кривые 3 и 4 на рис. 3). Грубая оценка на основе квазистатических уравнений (не приведенных здесь) показывает, что если период гармонических осцилляций стороннего тока равен одному часу, вариации приземного электрического поля с амплитудой 100 В/м имеют место при амплитуде тока порядка 10^{-11} А/м². Значительное электрическое поле (до нескольких В/м), обнаруженное в D области ионосферы, объясняется в работе [1] наличием сильного (порядка 10^{-9} — 10^{-8}) А/м² стороннего тока в мезосфере. Расчет на основании настоящей модели показыва-

ет, что если при наличии стороннего тока с максимумом на высоте $Z = 55$ км и $\Delta Z = 10$ км появляется дополнительно приземный сторонний ток и повышается приземная проводимость, то абсолютная величина электрического поля при $Z = 60$ км и электронная температура уменьшаются, в отличие от ситуации на рис. 5, когда сторонний ток есть только вблизи поверхности Земли. Этот результат качественно совпадает с результатами [1]. В то же время модельные статическое поле и квазистатические вариации приземного электрического поля хорошо согласуются с результатами наблюдений [2, 3].

Автор благодарен Ю. М. Михайлову и Г. А. Михайловой за плодотворную дискуссию.

1. Гоков А. М., Мартыненко С. И., Розуменко В. Т., Тырнов О. Ф. Мощные удаленные землетрясения и крупномасштабные возмущения в нижней ионосфере // Тр. V Российской конф. по атмосферному электричеству. — Владимир: Владимир. гос. ун-т, 2003.—С. 87—89.
2. Михайлов Ю. М., Михайлова Г. А., Дружин Г. И., Капустина О. В. Обнаружение атмосферных волн в спектрах мощности атмосферных помех на Камчатке // Геомагнетизм и аэронавигация.—2004.—44, № 2.—С. 245—253.
3. Михайлов Ю. М., Михайлова Г. А., Капустина О. В. и др. Вариации спектров мощности электрического поля приземной атмосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэронавигация.—2003.—43, № 3.—С. 422—428.
4. Bliokh P. Variations of the electric fields and currents in low ionosphere produced by air conductivity grows over region of forthcoming earthquake // Радиофизика и радиоастрономия.—1997.—2.—С. 146—151.
5. Grimalsky V. V., Hayakawa M., Ivchenko V. N., et al. Penetration of an electrostatic field from the lithosphere into the ionosphere and its effect on the D-region before earthquakes // J. Atmos. and Terr. Phys.—2003.—65.—P. 391—407.
6. Martinenko S. I., Fuks I. M., Shubova R. S. Ionospheric electric-field influence on the parameters of VLF signals connected with nuclear accidents and earthquakes // J. Atmos. Electricity.—1996.—16.—P. 259—269.
7. Rapoport Y., Grimalsky V., Hayakawa M., et al. Change of ionospheric plasma parameters under the influence of electric field which has lithospheric origin and due to radon emanation. // Phys. and Chem. Earth.—2004.—29.—P. 579—587.
8. Sorokin V. M., Chmyrev V. M., Yaschenko A. K. Electrodynamics model of the lower atmosphere and the ionosphere coupling // J. Atmos. and Terr. Phys.—2001.—63.—P. 1681—1691.

NEW PHOTOCHEMISTRY-ELECTROSTATIC MODEL OF SEISMOIONOSPHERIC COUPLING AND VARIATIONS OF NEAR-GROUND QUASISTATIC ELECTRIC FIELD BEFORE EARTHQUAKES

Yu. G. Rapoport

Quasistatic electric field and ionospheric parameters are determined in the system «lithosphere-atmosphere-ionosphere» (LAI). This model explains the observed variations of near-ground electric field before strong earthquakes.