

ВОЗМУЩЕНИЯ ТЕРМОСФЕРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЕЙСМОГЕННЫХ ТОКОВ

Карпов М.И.

Мурманский государственный технический университет

Данные наземных и спутниковых наблюдений свидетельствуют о воздействии сейсмической активности на ионосферу. Возмущенные электрические поля сейсмического происхождения рассматриваются в качестве источника генерации характерных возмущений полного электронного содержания (ТЕС) ионосферы перед крупными землетрясениями [1–2]. Согласно спутниковым измерениям возмущения достигают 10 мВ/м [3], и их образование в ионосфере связывают с дополнительным вертикальным электрическим током, текущим над областью эпицентра. Его возникновение связано с ионизацией приземного слоя атмосферы радоном, эманурующим из тектонического разлома. В качестве дополнительной первопричины ионизации рассматриваются электрические поля т. н. "положительных дыр", образованных на границе земля-воздух в результате сжатия пород [4]. Налипшие на аэрозоли и капли воды заряженные частицы под действием градиента давления переносятся вверх, создавая дополнительные электрические поля.

Численные расчеты ионосферных эффектов от действия сейсмогенных электрических токов показали, что дополнительные токи плотностью 10^{-8} – 10^{-9} А/м², текущие над областью эпицентра через площадку размерами 200 на 2500 км, генерируют в ионосфере возбужденные поля порядка нескольких мВ/м [5, 6]. Образованные в результате возмущения ТЕС полностью соответствовали набору признаков характерных аномалий, наблюдаемых перед крупными землетрясениями [1, 7].

В данной работе представлены результаты расчетов воздействия сейсмогенных электрических токов на параметры нейтральной атмосферы с использованием глобальной физико-математической модели UAM. Модель рассчитывает трехмерное распределение концентраций, температур и скоростей движения нейтральных и заряженных компонент, а также электрического потенциала и напряженности электрического поля путем решения уравнений движения, непрерывности и теплового баланса. В отличие от предыдущих расчетов [5, 6], где параметры нейтральной атмосферы вычислялись с использованием эмпирической модели NRLMSISE-00, в данной работе решались соответствующие уравнения из блока нейтральной атмосферы. Данные расчеты особенно интересны в связи со спутниковыми наблюдениями повышенной плотности верхней атмосферы за несколько суток до крупных землетрясений, а также средней плотности атмосферы на следующие сутки после события [8].

Электрический ток плотностью 10 нА/м², направленный к Земле и размещенный на площади 250 на 5000 км, задавался в качестве источника возмущений на нижней границе в уравнении для электрического потенциала, которое решалось совместно с другими уравнениями модели. Рассчитанные параметры сравнивались с параметрами, полученными при расчете спокойных условий (в отсутствие сейсмогенных электрических токов).

Результаты расчетов показали формирование в нейтральной атмосфере возмущений, перемещающихся от источника вверх и, преимущественно, к полюсам. На высотах 120 и 300 км температура нейтрального газа изменилась, соответственно, на 35–50 и 15–20 К относительно спокойных условий (рис. 1); скорость нейтрального ветра – на 40–60 м/с (рис. 2); концентрация атомов кислорода – на 10 %. Волновой характер и скорость распространения возмущений, составившая 300–500 м/с, указывают на формирование внутренних гравитационных волн. При этом эффект наблюдается не только

в районе эпицентра, но и в магнитосопряженной области. Рассчитанные возмущения ТЕС практически не изменились по сравнению с расчетом по эмпирической модели NRLMSISE-00. Магнитуда возмущений уменьшилась с 40–50 % до 30–40 % (рис. 3).

Таким образом, сейсмогенные электрические токи, формируют в нейтральной атмосфере слабые внутренние гравитационные волны, эффект от которых в ионосфере незначителен по сравнению с влиянием электрического поля на ионосферную плазму посредством электромагнитного дрейфа.

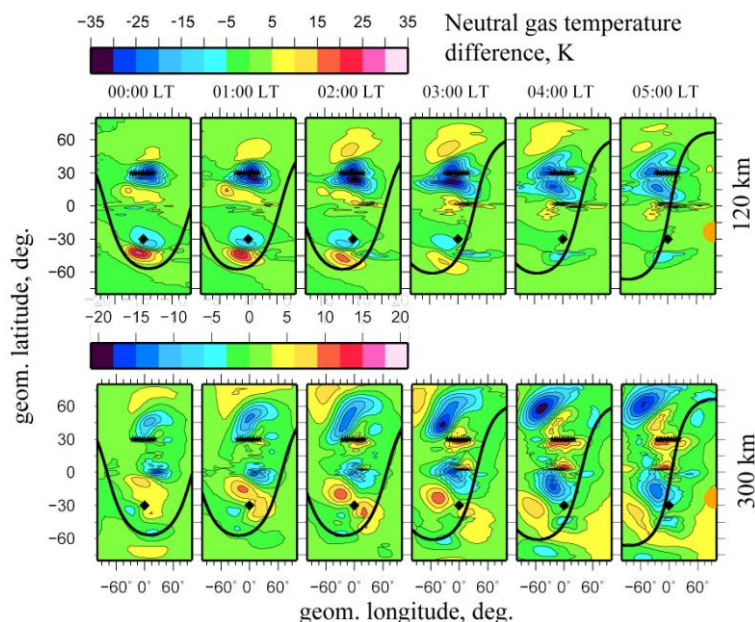


Рис. 1. Расчет изменения температуры нейтрального газа относительно спокойных условий на высоте 120 и 300 км, К. Звездами обозначены положения источников электрического тока, ромбом – магнитосопряженная к эпицентру точка, черная линия – линия терминатора, оранжевый круг – подсолнечная точка.

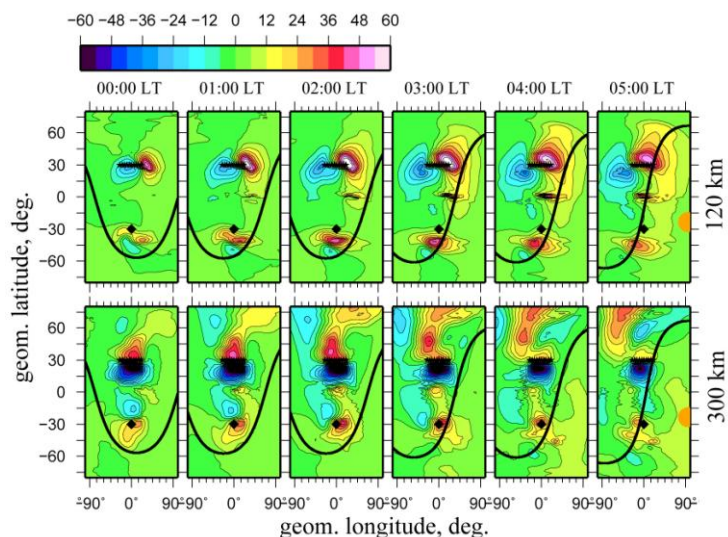


Рис. 2. Рассчитанное изменение скорости восточного ветра относительно спокойных условий, м/с.

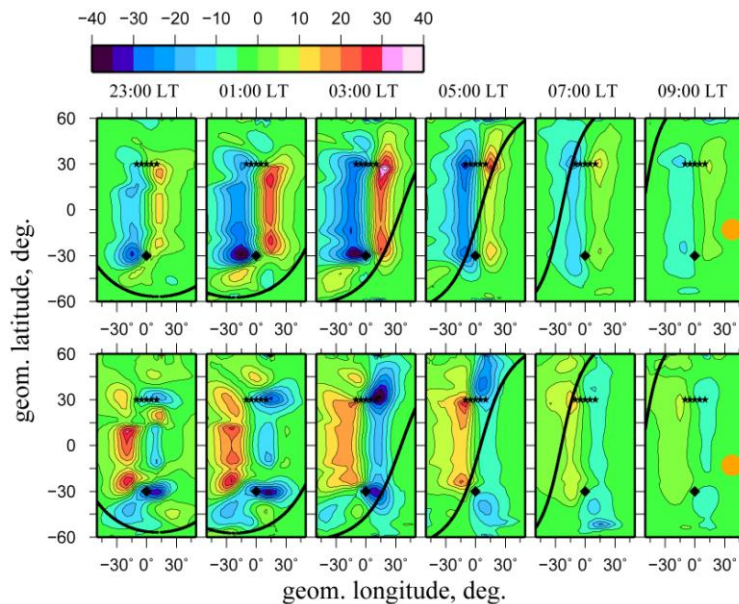


Рис. 3. Рассчитанные возмущения ТЕС относительно спокойных условий, %. Вверху – расчет с использованием эмпирической модели NRLMSISE-00, внизу – самосогласованный расчет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pulinets S.A., Boyarchuk K. *Ionospheric Precursors of Earthquakes*. Springer: Berlin, Germany, 2004. 315 p.
2. Sorokin V.M., Yaschenko A.K., Hayakawa M. Formation mechanism of the lower-ionosphere disturbances by the atmosphere electric current over a seismic region. // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2006. V. 68. P. 1260-1268. doi: 10.1016/j.jastp.2006.03.005
3. Gousheva M., Danov D., Hristov P., Matova M. Ionospheric quasi-static electric field anomalies during seismic activity in August-September 1981 // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2009. V. 9. P. 3-15. doi: 10.5194/nhess-9-3-2009
4. Freund, F.T., Kulahci, I.G., Cyr, G., Ling, J., Winnick, M., Tregloan-Reed, J and Freund, M.M. (2009) Air ionization at rock surfaces and pre-earthquake signals. // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2009. V. 71. P. 1824-1834. doi: 10.1016/j.jastp.2009.07.013
5. Namgaladze A.A., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E. // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2009. V. 49. N. 2. P. 252-262. doi: 10.1134/S0016793209020169
6. Zolotov O.V., Namgaladze A.A., Zakharenkova I.E., Martynenko O.V., Shagimuratov I.I. Physical interpretation and mathematical simulation of ionospheric precursors of earthquakes at midlatitudes // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2012. V.52. N.3. P.390–397. doi: 10.1134/S0016793212030152
7. Liu J.Y., Chen C.H., Chen Y.I., Yang W.H., Oyama K.I., Kuo K.W. A statistical study of ionospheric earthquake precursors monitored by using equatorial ionization anomaly of GPS TEC in Taiwan during 2001–2007 // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2010. V. 39. N. 1–2. P. 76-80. doi: 10.1016/j.jseaes.2010.02.012
8. Тертышников А.В., Скрипачев В.О. Оценки возмущений орбит космических аппаратов перед сильными землетрясениями // *Космические исследования*. 2009. Т. 47. № 5. С. 403-408