

УДК 550.510.533

Морфологические характеристики вариаций полного электронного содержания ионосферы в период подготовки Вэнчуаньского землетрясения 2008 года

О.В. Золотов¹, Б.Е. Прохоров^{2,3}

¹ Политехнический факультет МГТУ, кафедра физики

² Центр им. Гельмгольца, Центр исследования Земли, Потсдам, Германия

³ Университет г. Потсдам, Институт прикладной математики, Междисциплинарный центр динамики сложных систем, Потсдам, Германия

Аннотация. В статье исследуются основные морфологические особенности поведения и пространственного распределения аномальных возмущений полного электронного содержания, которые географически привязаны к околоэпицентральной области и могут рассматриваться как ионосферные проявления взаимодействий системы "литосфера–атмосфера–ионосфера" и процессов подготовки сейсмического события на примере Вэнчуаньского землетрясения 12 мая 2008 г., M 7.9, D 19 km, (31.0N;103.4E), т.е. в качестве сейсмо-ионосферных предвестников землетрясений.

Abstract. The paper presents the investigation and description of the main morphological features of the total electron content (TEC) variations before the Wenchuan earthquake of May 12, 2008, M 7.9, D 19 km, (31.0N;103.4E). The observed TEC disturbances were strongly linked to the near-epicenter and have been treated by the authors as manifestation of the "lithosphere–atmosphere–ionosphere" coupling processes.

Ключевые слова: полное электронное содержание, ионосферные предвестники землетрясений, Вэнчуань
Key words: total electron content, ionospheric precursors to earthquakes, Wenchuan earthquake

1. Введение

Поиски сейсмо-ионосферных предвестников велись в течение 2-3 десятилетий, основываясь на различных наземных и спутниковых наблюдениях, включая специальные миссии мониторинга естественных угроз (Harrison *et al.*, 2010; Hayakawa *et al.*, 2006; Pulinets, Boyarchuk, 2004; Pulinets, Ouzounov, 2010; Shalimov, Gokhberg, 1998; Лунеровский и др., 2008). В настоящей практике GNSS-зондирование нашло широкое применение в задачах исследования модификаций ионосферы и, в частности, ионосферных эффектов, ассоциируемых с сильными сейсмическими событиями (Liu *et al.*, 2006; Zakharenkova *et al.*, 2008). Плотная сеть GNSS (Global Navigation Satellite System) и, в частности, GPS (Global Positioning System) приемников осуществляет одновременное наблюдение (радиопросвечивание ионосферы) в глобальном масштабе. Она предоставляет в качестве первичных данных измерения величин групповых и фазовых задержек сигналов на частотах L1=1575 МГц и L2=1228 МГц для 30-секундных интервалов. Эта ионосферная задержка может быть трансформирована в интегральное электронное содержание вдоль луча "источник (спутник) – наземный приемник", а затем пересчитана в вертикальный TEC (total electron content). Следует отметить, что вертикальный TEC очень чувствителен к изменениям максимума электронной концентрации (NmF2) F2-слоя ионосферы.

Настоящая работа представляет исследование сильных аномальных возмущений TEC как вероятных сейсмо-прекурсоров для конкретного случая Вэнчуаньского землетрясения 12 мая 2008 г., M 7.9, D 19 km, (31.0N; 103.4E).

2. Условия солнечной и геомагнитной активности

Верхняя атмосфера очень чувствительна к воздействиям со стороны Солнца, а также внешнего пространства. Изменения геомагнитной активности могут привести к генерации различных возмущений параметров ионосферной плазмы (примерами таких возмущений могут служить бури и суббури), которые по амплитуде сравнимы или даже превосходят предполагаемые сейсмо-индуцированные аномалии. Тем самым они могут маскировать проявления в ионосфере протекающих в зоне подготовки землетрясения предсейсмических процессов.

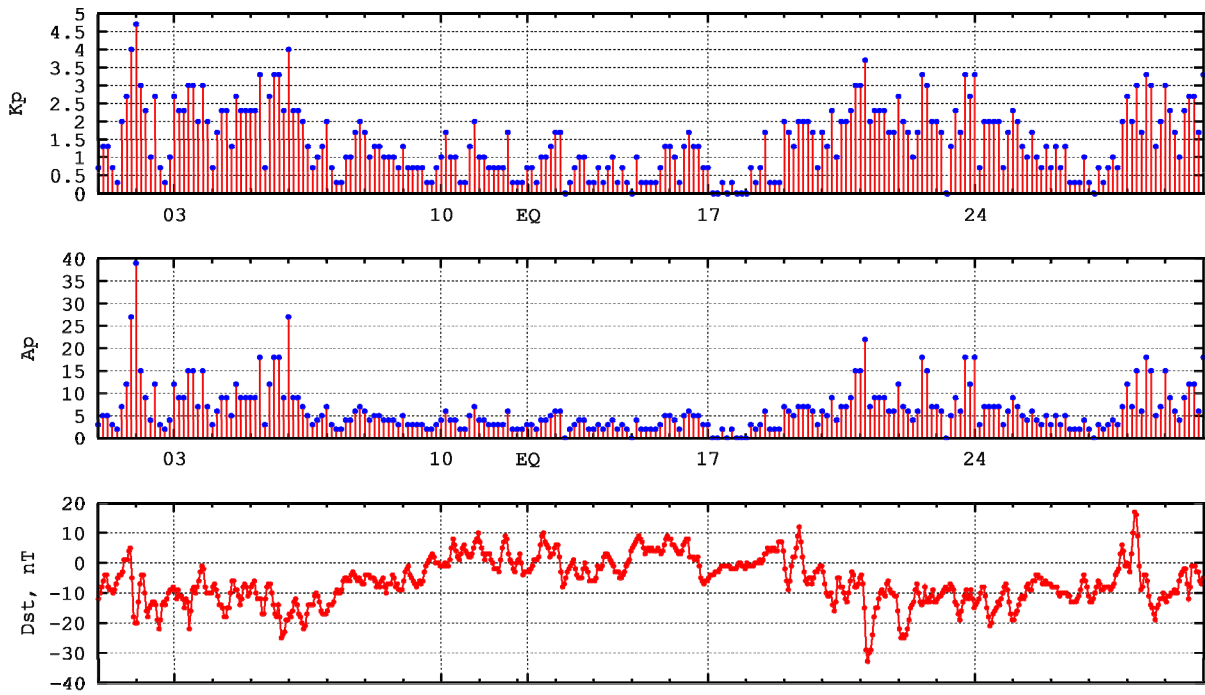


Рис. 1. Kp (сверху), Ap (в центре) и Dst-индексы (снизу) для 1-30 мая 2008 г., EQ – момент землетрясения

Но в мае 2008 г., когда произошло Вэнчуаньское землетрясение, геомагнитная обстановка была спокойная. Как можно видеть из рис. 1, Kp-индекс (сверху) в основном не превышает 3 единиц и достигает максимальных значений величиной до 5 единиц в период с 1 по 13 мая, не превосходит 2.5 единиц с 7 мая 2008 г. и до момента реализации сейсмического события. Ap-индекс (рис. 1, в центре) также менее 10 нТл с 1 по 13 мая 2008 г., преимущественно менее 15 нТл в период с 1 мая вплоть до момента землетрясения. Вариации Dst-индекса (рис. 1, снизу) не обнаруживают сколько-нибудь существенных возмущений. Таким образом, сложившаяся в период подготовки землетрясения геомагнитную обстановку можно считать относительно спокойной и пренебречь её возможным влиянием на параметры исследуемых возмущений в полном электронном содержании.

3. Вариации ТЭС в период подготовки Вэнчуаньского землетрясения

В рамках настоящей работы мы определили аномальные вариации ПЭС как сильные локальные долгоживущие отклонения от невозмущенных фоновых значений, "привязанные" к некоторой географической позиции, – околосредней области готовящегося землетрясения, – которые могут сопровождаться аналогичными эффектами в магнитосопряженной области.

Спокойные невозмущенные фоновые значения мы рассчитали как скользящее среднее с учетом 3 дней до и 7 дней после рассчитываемого момента. Мы построили и проанализировали дифференциальные карты ТЭС для нескольких дней перед Вэнчуаньским землетрясением (рис. 2). В качестве входных данных для расчета использовались глобальные карты ТЭС, предоставленные NASA в формате IONEX (<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/>).

Как следует из рис. 2, размер области наблюдаемой аномалии составил ~10 градусов по широте и ~40 градусов по долготе. Возмущение имело вид локального увеличения значений ПЭС, существовало с 06 UT до 12 UT 9 мая 2008 г. В максимуме проявления аномалия превосходила невозмущенное состояние на 60 %. Аналогичные эффекты также наблюдались в магнитосопряженной области. Непосредственно перед моментом сейсмического события аномалии в ТЭС в околосредней области не наблюдались.

Для исключения влияния выбранной методики определения фоновых значений ТЭС мы произвели расчет дифференциальных карт ТЭС как 7-дневное скользящее среднее до выбранного расчетного момента. Основные особенности аномалий сохранились, что позволило нам не связывать их с методом выбора окна осреднения или численным шумом. Таким образом, с учетом географической локализации, времени жизни, магнитной сопряженности и геомагнитной активности, возмущения ТЭС являются свидетельством связи системы "литосфера–атмосфера–ионосфера" и протекающих в период подготовки землетрясения реальных физических процессов.

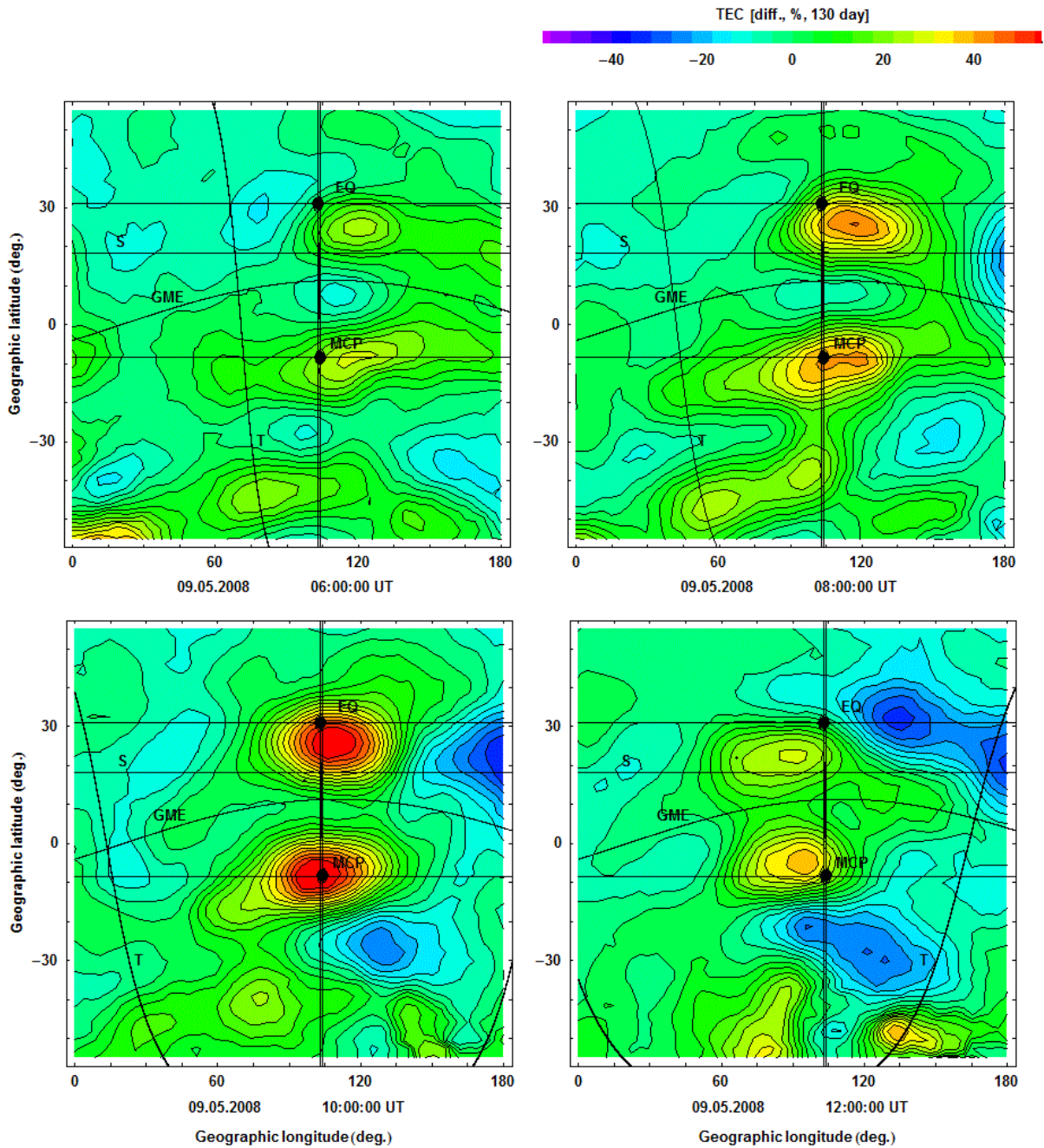


Рис. 2. Карты отклонений TEC (%) от невозмущенного состояния для 9 мая 2008 г., 06 UT (сверху слева), 08 UT (сверху справа), 10 UT (снизу слева), 12 UT (снизу справа). EQ – эпицентр землетрясения. MCP – магнитосопряженная точка. GME – геомагнитный экватор

4. Выводы

Аномальные вариации TEC по данным GPS-зондирования ионосферы были обнаружены за два дня до Вэнчуаньского землетрясения от 12 мая 2008 г., M 7.9, D 19 км, (31.0N; 103.4E). Они проявились как сильное локальное увеличение TEC более чем на 60 %, занимали ~10 градусов по широте и ~40 градусов по долготе в околосредней области. Существовали с 06 UT до 12 UT 9 мая 2008 г. Аналогичные эффекты имели место и в магнитосопряженной области.

Аномалии не представляется возможным объяснить вариациями в солнечной или геомагнитной активности, а также они не являются следствием выбранного авторами размера окна сглаживания для расчета скользящего среднего (т.е. спокойных невозмущенных условий или фона).

Сильная привязка аномалий к околоэпицентральной области, особенности их морфологии и магнитная сопряженность позволяют нам рассматривать наблюдаемые аномалии в качестве сейсмоионосферных предвестников землетрясений, "спровоцированных" проникающими снизу воздействиями от процессов подготовки сейсмического события.

Магнитная сопряженность наблюдаемых аномалий свидетельствует в пользу гипотезы о вертикальном дрейфе в скрещенных полях ионосферной плазмы F2-области под воздействием зонального электрического поля сейсмического происхождения (Namgaladze et al., 2009a; 2009b) как основном физическом механизме формирования наблюдаемого явления.

Благодарности. Авторы благодарят (1) NOAA National Geophysical Data Center / NGDC за Ap, Kp и Dst индексы (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>); (2) U.S. Geological Survey and National Earthquake Information Center за данные по Вэнчуаньскому землетрясению, URL: <http://earthquake.usgs.gov/>; (3) Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) за глобальные ионосферные карты TEC (Noll et al., 2009; Noll, 2010).

Литература

- Harrison R.G., Aplin K.L., Rycroft M.J.** Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, v.72, Iss. 5-6, p.376-381, doi:10.1016/j.jastp.2009.12.004, 2010.
- Hayakawa M., Pulinets S., Parrot M., Molchanov O.A.** Recent progress in seismo electromagnetics and related phenomena. *Phys. & Chem. Earth.*, v.31, Iss. 4-9, p.129-131, doi:10.1016/j.pce.2006.05.001, 2006.
- Liu J.Y., Chen Y.I., Chuo Y.J., Chen C.S.** A statistical investigation of preearthquake ionospheric anomaly. *J. Geophys. Res.*, v.111, A05304, doi:10.1029/2005JA011333, 2006.
- Namgaladze A.A., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E.** Physical mechanism and mathematical modeling of earthquake ionospheric precursors registered in Total Electron Content. *Geomagnetism and Aeronomy*, v.49, N 2, p.252-262, 2009a.
- Namgaladze A.A., Zolotov O.V., Zakharenkova I.E., Shagimuratov I.I., Martynenko O.V.** Ionospheric total electron content variations observed before earthquakes: Possible physical mechanism and modeling. *Proc. of the MSTU*, v.12, N 2, p.308-315, URL: vestnik.mstu.edu.ru/v12_2_n35/articles/22_namgal.pdf, 2009b.
- Noll C., Bock Y., Habrich H., Moore A.** Development of data infrastructure to support scientific analysis for the International GNSS Service. *J. of Geodesy*, p.309-325, doi:10.1007/s00190-008-0245-6, 2009.
- Noll C.** The crustal dynamics data information system: A resource to support scientific analysis using space geodesy. *Adv. Space Res.*, v.45, Iss. 12, p.1421-1440, doi: 10.1016/j.asr.2010.01.018, 2010.
- Pulinets S.A., Boyarchuk K.** Ionospheric precursors of earthquakes. *Berlin, Springer*, 315 p., 2004.
- Pulinets S., Ouzounov D.** Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation. *J. Asian Earth Sci.*, doi:10.1016/j.jseae.2010.03.005, 2010 (in press).
- Shalimov S., Gokhberg M.** Lithosphere–ionosphere coupling mechanism and its application to the earthquake in Iran on June 20, 1990. A review of ionospheric measurements and basic assumptions. *Phys. Earth & Planet. Inter.*, v.105, Iss. 3-4., p.211-218, doi:10.1016/S0031-9201(97)00092-7, 1998.
- Zakharenkova I.E., Shagimuratov I.I., Tepenitzina N.Yu., Krankowski A.** Anomalous modification of the ionospheric total electron content prior to the 26 September 2005 Peru earthquake. *J. Atm. Solar-Terr. Physics*, v.70, p.1919-1928, doi:10.1016/j.jastp.2008.06.003, 2008.
- Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстре К.-В., Липеровская Е.В.** Физические модели связей в системе литосфера–атмосфера–ионосфера перед землетрясениями. *Геомагнетизм и Аэронамия*, т.48, № 6, с.831-843, 2008.