

УДК 550.344.42, 551.510.535, 537.87

ВОЗМУЩЕНИЯ АМПЛИТУДЫ И ФАЗЫ СУБИОНОСФЕРНОГО ОНЧ СИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВОЛН ЦУНАМИ

© 2016 г. М.С. Соловьева¹, А.А. Рожной¹, С.Л. Шалимов^{1,2}, Б.В. Левин³,
Г.В. Шевченко³, В.Б. Гурьянов³

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

³ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Данные очень низкочастотных (ОНЧ) наблюдений на нескольких принимающих станциях в России (г.г. Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск) и Японии (г. Мошири) использованы для анализа отклика нижней ионосферы на цунами, вызванные Курильским 2006 г., Японским 2011 г. и Чилийским 2010 г. землетрясениями. После названных землетрясений при распространении цунами вдоль трассы “передатчик–приемник” были обнаружены аномалии в рядах ночных наблюдений амплитуды и фазы ОНЧ сигналов, фиксируемых станциями. Анализ спектральных характеристик вариаций ОНЧ сигналов показал хорошее совпадение их частотных максимумов с максимумами на записях колебаний уровня моря, зарегистрированных станциями *DART* и *GPS*, расположенными вблизи приемников и передатчика.

Результаты работы подтверждают вероятность того, что обнаруженные возмущения в нижней ионосфере вызываются внутренними гравитационными волнами, создаваемыми цунами.

Ключевые слова: цунами, субионосферные электромагнитные сигналы, нижняя ионосфера, внутренние гравитационные волны.

Литература

- Шалимов С.Л.* Ионосфера над цунами // НТР. 2013. Т. 92, № 4. С.3–18.
- Artru J., Ducic V., Kanamori H., Lognonne P., Murakami M.* Ionospheric detection of gravity waves induced by tsunamis // *Geophys. J. Int.* 2005. V. 160. P.840–848. doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02552.x.
- Barr R., Jones D.L., Rodger C.J.* ELF and VLF radio waves // *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 2000. V. 62. P.1689–1718.
- Coïsson P., Occhipinti G., Lognonné P., Rolland L. M.* Tsunami signature in the ionosphere: the innovative role of OTH radar // *Radio Sci.* 2011. V. 46. RS0D20. doi: 10.1029/2010RS004603.
- Galvan D.A., Komjathy A., Hickey M.P., Mannucci A.J.* The 2009 Samoa and 2010 Chile tsunamis as observed in the ionosphere using GPS total electron content // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. A06318. doi: 10.1029/2010JA016204.
- Hickey M.P., Schubert G., Walterscheid R.L.* Atmospheric airglow fluctuations due to a tsunami-driven gravity wave disturbance // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. A06308. doi: 10.1029/2009JA014977.
- Hines C.O.* Gravity waves in the atmosphere // *Nature.* 1972. V. 239. P.73–78.
- Komjathy A., Galvan D.A., Stephens P., Butala M.D., Akopian V., Wilson B., Verkhoglyadova O., Mannucci A.J., Hickey M.* Detecting ionospheric TEC perturbations caused by natural hazards using a global network of GPS receivers: The Tohoku case study // *Earth Planets Space.* 2012. V. 64, N 12. P.1287–1294. doi: 10.5047/eps.2012.08.003.
- Makela J., Lognonne P., Hébert H., Gehrels T., Rolland L., Allgeyer S., Kherani A., Occhipinti G., Astafyeva E., Coïsson P., Loevenbruck A., Clévéde E., Kelley M.C., Lamouroux J.* Imaging and modeling the ionospheric airglow response over Hawaii to the tsunami generated by the Tohoku

- earthquake of 11 March 2011 // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. L00G02. doi: 10.1029/2011GL047860.
- Najita K., Weaver P., Yuen P.* A tsunami warning system using an ionospheric technique // *Proc. IEEE.* 1974. V. 62, N 5. P.563–577.
- Occhipinti G., Lognonné P., Kherani E.A., Hébert H.* Three dimensional waveform modeling of ionospheric signature induced by the 2004 Sumatra tsunami // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L20104. doi: 10.1029/2006GL026865.
- Occhipinti G., Kherani A., Lognonné P.* Geomagnetic dependence of ionospheric disturbances induced by tsunamigenic internal gravity waves // *Geophys. J. Int.* 2008. V. 173, N 3. P.753–765. doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03760.x.
- Occhipinti G., Coisson P., Makela J.J., Allgeyer S., Kherani A., Hébert H., Lognonne P.* Three-dimensional numerical modeling of tsunami-related internal gravity waves in the Hawaiian atmosphere // *Earth Planet. Sci.* 2011. V. 63. P.847–851. doi: 10.5047/eps.2011.06.051.
- Peltier W.R., Hines C.O.* On the possible detection of tsunamis by a monitoring of the ionosphere // *J. Geophys. Res.* 1976. V. 81. P.1995–2000. doi: 10.1029/JGREA000081000C12001995000001.
- Rolland L.M., Occhipinti G., Lognonné P., Loevenbruck A.* Ionospheric gravity waves detected offshore Hawaii after tsunamis // *Geophys. Res. Lett.* 2010. V. 37. L17101. doi: 10.1029/2010GL044479.
- Rozhnoi A., Shalimov S., Solovieva M., Levin B.W., Hayakawa M., Walker S.N.* Tsunami-induced phase and amplitude perturbations of subionospheric VLF signals // *J. Geophys. Res. Space Physics.* 2012. V. 117. A09313. doi: 10.1029/2012JA017761.
- Rozhnoi A., Shalimov S., Solovieva M., Levin B., Shevchenko G., Hayakawa M., Hobara Y., Walker S.N., Fedun V.* Detection of tsunami-driven phase and amplitude perturbations of subionospheric VLF signals following the 2010 Chile earthquake // *J. Geophys. Res. Space Physics.* 2014. V. 119. P.5012–5019. doi: 10.1002/2014JA019766.
- Shevchenko G., Ivelskaya T., Loskutov A., Shishkin A.* The 2009 Samoan and 2010 Chilean Tsunamis Recorded on the Pacific Coast of Russia // *Pure Appl. Geophys.* 2012. V. 170, N 9/10. P.1511–1527. doi: 10.1007/s00024-012-0562-9.