

УДК 551.558, 551.596, 534.221

**ПАРАМЕТРЫ ИНФРАЗВУКОВЫХ ЭФФЕКТОВ,
СГЕНЕРИРОВАННЫХ ЧЕЛЯБИНСКИМ МЕТЕОРОИДОМ 15 ФЕВРАЛЯ 2013 г.****Л. Ф. Черногор, Н. Б. Шевелев***Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина, 61077, Харьков,
пл. Свободы, 4*

Поступила в редакцию 24 июня 2016 г.

Описаны результаты исследования инфразвукового эффекта Челябинского метеороида по данным измерений на антарктической станции, принадлежащей Германии. Показано, что инфразвуковой сигнал проходил по двум трассам – короткой и длинной. С помощью основных методов анализа акустических эффектов – полосовой фильтрации и системного спектрального анализа – определены времена запаздывания сигнала и рассчитаны его скорости прихода. Установлены основные периоды, и длительности акустических сигналов. Объяснено различие между скоростями прихода инфразвуковой и звуковой волн.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Челябинский метеороид, инфразвук, полосовая фильтрация, системный спектральный анализ.

Описані результати дослідження інфразвукового ефекту Челябінського метеороїду за даними вимірювань на антарктичній станції, що належить Німеччині. Показано, що інфразвуковий сигнал проходив двома трасами – короткою та довгою. За допомогою основних методів аналізу акустичних ефектів – смугової фільтрації та системного спектрального аналізу – визначено часи запізнення сигналів і розраховані їх швидкості приходу. Встановлені основні періоди та тривалості акустичних сигналів. Пояснено різницю між швидкостями приходу інфразвукової та звукової хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Челябінський метеороїд, інфразвук, смугова фільтрація, системний спектральний аналіз.

The results of investigation of infrasound effect from Chelyabinsk meteoroid by Antarctic station which belongs Germany data are described. It's showed that infrasound signal propagated on two distances – short and long. Via of two main methods – bandpass filtering and system spectral analysis – the delays times are defined and the arrival rates are evaluated. The prevailing periods and the durations of acoustic signals are determined. The difference between celerity of infrasound and propagation speed of sound waves are explained.

KEY WORDS: Chelyabinsk meteoroid, infrasound, bandpass filtering, system spectral analysis.

ВВЕДЕНИЕ

15 февраля 2013 г. в Челябинской области в 09:22 по местному времени (в 03:22 UT) многие жители стали очевидцами необычного явления: крупный болид (малый астероид) пролетел и взорвался неподалеку от г. Челябинск. Это явление сопровождалось целым рядом эффектов во всех геосферах, проанализированных в ряде статей [1 – 5]. В частности, взрыв метеороида стал причиной генерации мощной ударной волны, последствия которой были зафиксированы многими инфразвуковыми станциями (ИЗС). Начальная масса метеороида – около 11 кт, начальная скорость – около 18 км/с, диаметр – около 18 м, а угол наклона траектории к горизонту – около 20° [1 – 5].

В настоящей работе проведен анализ инфразвукового сигнала, сгенерированного Челябинским метеороидом и зарегистрированного германскими станциями в Антарктиде. Показано, что сигнал был зафиксирован ИЗС дважды: первый раз в 17:40 UT 15 февраля (волна распространялась по короткой дистанции, расстояние до источника $R = 15500$ км), второй раз – в 02:58 UT 16 февраля (инфразвуковая волна распространялась по длинной траектории, $R = 25000$ км).

МЕТОДИКА АНАЛИЗА

Полосовая фильтрация. Назначение данного метода анализа заключалось в обнаружении акустических эффектов, проявляющихся в виде резкого увеличения уровня колебаний давления $\Delta p(t)$ в определенном интервале времени.

Результаты полосовой фильтрации в диапазоне периодов $T = 10 - 100$ с данных инфразвукового сигнала, полученных 15 февраля с 17:30 по 18:15 UT и 16 февраля с 02:50 по 03:35 UT, приведены соответственно на рис. 1 и 2 (каналы I26H4 и I26H7).

Системный спектральный анализ (ССА). ССА представляет собой совокупность взаимодополняющих друг друга оконного (ОПФ), адаптивного преобразований Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразования (ВП) [6]. Как известно, первое имеет лучшее разрешение по времени. Преимущество АПФ – в лучшем разрешении по периоду, поскольку адаптация производится к периодам искомым спектральных составляющих. ВП «сглаживает» недостатки каждого из преобразований.

Результаты ССА в диапазоне периодов от 10 до 100 с также приведены на рис. 1 и 2.

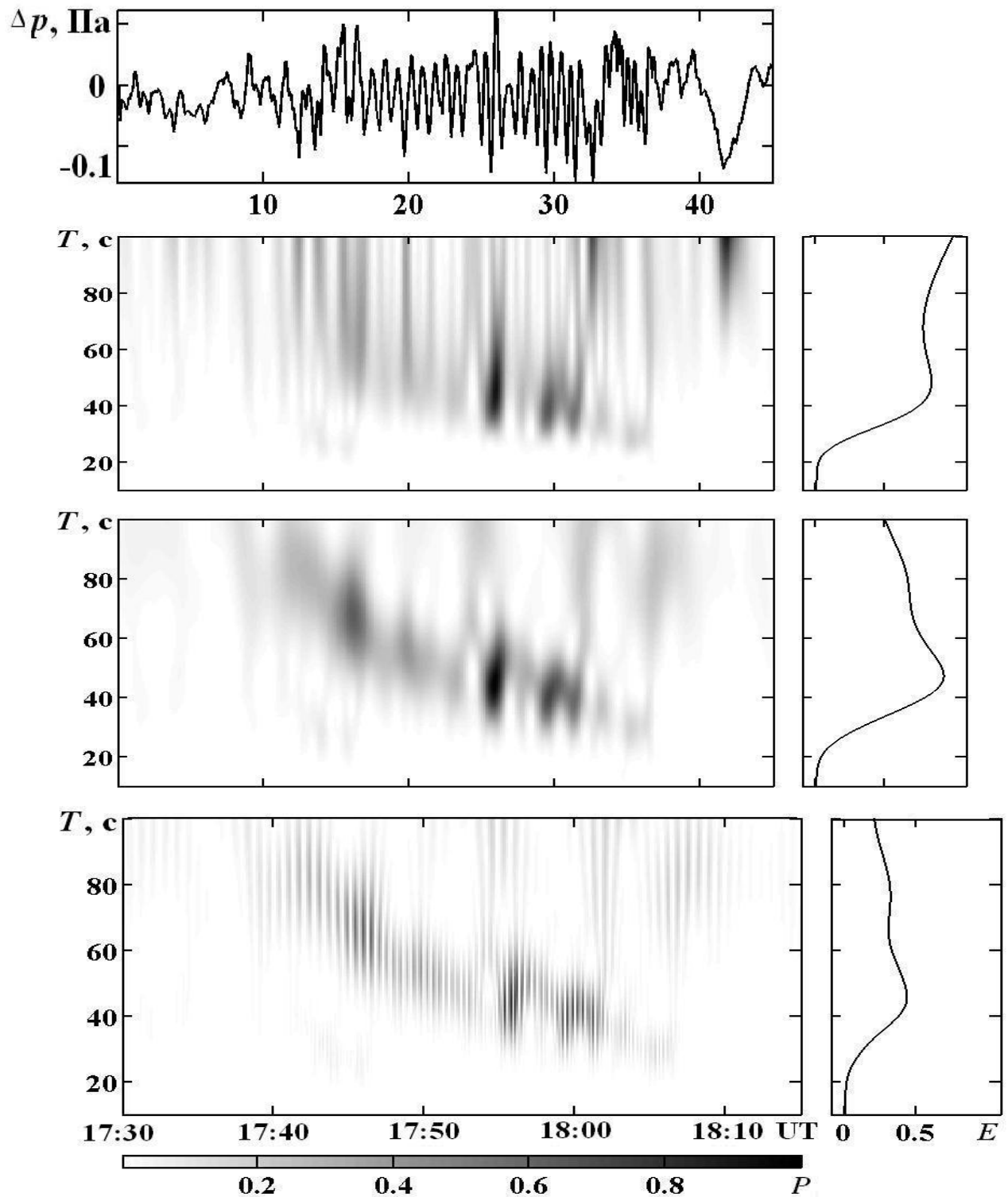


Рис. 1. Результаты полосовой фильтрации (верхняя панель) и ССА для инфразвукового сигнала, сгенерированного Челябинским метеороидом и зафиксированного германскими ИЗС: спектрограммы ОПФ, АПФ и ВП (панели сверху вниз). Справа показаны энергограммы соответствующих преобразований. Время отсчета 15 февраля, 17:30 UT. Анализ проводился в интервале периодов 10 – 100 с. Шаг по времени 7.95 с, по периоду – 0.5с.

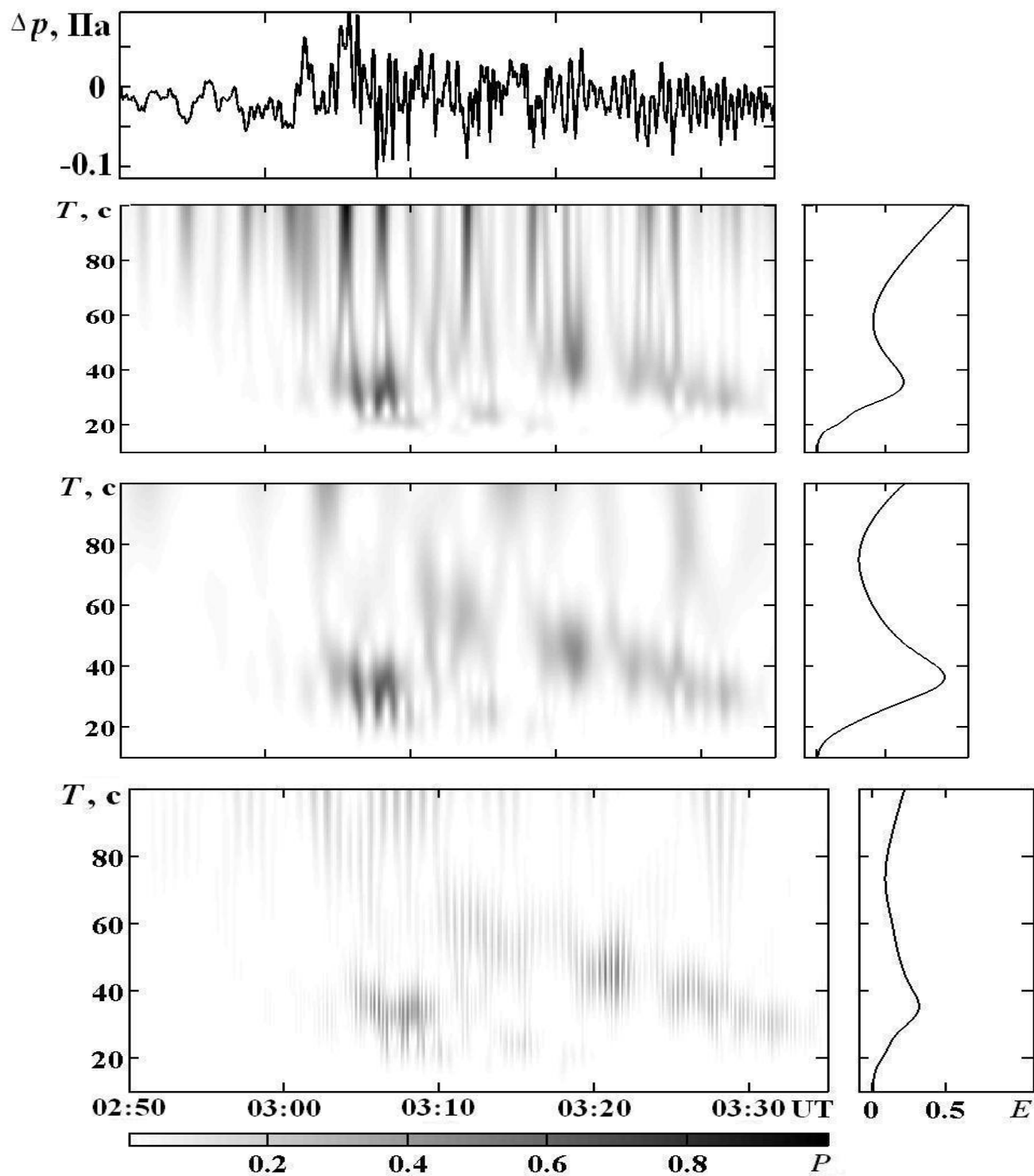


Рис. 2. Результаты ССА для инфразвукового сигнала, сгенерированного Челябинским метеороидом и зафиксированного германскими ИЗС. Время отсчета 16 февраля, 02:50 UT. Анализ проводился в интервале периодов 10 – 100 с. Шаг по времени 7.95 с, по периоду – 0.5 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ СИСТЕМНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Из рис. 1 видно, что периоды акустического сигнала составляют от 20 до 80 с. Длительность сигнала равнялась 25 мин. Зная расстояние до источника ($R = 15500$ км) и время запаздывания сигнала $\Delta t = 14$ час 14 мин, находим скорость прихода инфразвуковой волны $v = 302$ м/с. На рис. 2 показан результат ССА для второй инфразвуковой волны, обогнувшей Земной шар с обратной стороны и прошедшей путь длиной 25000 км. Видно, что периоды составляли от 20 до 100 с. Кроме того, в интервале времени 03:05 – 03:10 на основной сигнал наложился сигнал с $T \approx 25 - 35$ с. Длительность сигнала равнялась 35 – 40 мин. Скорость прихода инфразвуковой волны $v = 293$ м/с.

Важно, что спектральные составляющие с большим периодом имеют большую скорость прихода. Наибольшую энергию имели составляющие с $T = 40 - 50$ с (см. рис. 1) и $T = 30 - 40$ с (см. рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты полосовой фильтрации, с временами запаздывания, равными 14 час 14 мин и 23 час 40 мин для расстояний 15500 и 25000 км соответственно наблюдалось увеличение в 2 – 3 раза амплитуды инфразвукового сигнала. При большем значении R наблюдалось меньшее значение амплитуды. Таким временам запаздывания соответствовали скорости прихода сигнала 293 и 302 м/с. Эти факты свидетельствуют о том, что наблюдаемые пути колебаний вызваны пролетом и взрывом Челябинского метеороида. Установлено, что в спектре инфразвукового сигнала содержались гармоники с $T = 10 - 100$ с, максимум энергии приходился на периоды 30 – 50 с. Длительности инфразвукового сигнала ΔT составляли 25 и 35 – 40 мин для R , равных 15500 и 25500 км соответственно. Увеличение ΔT при увеличении R объясняется дисперсионным удлинением сигнала. Дело в том, что спектральные составляющие с $T \approx 100$ с имели скорость $v = 293 - 300$ м/с, а составляющие с $T \approx 10$ с – скорость v примерно на 8 м/с меньше. Скорости прихода инфразвукового сигнала заметно меньше скорости распространения звука в приземной атмосфере (около 330 м/с). Это обусловлено сложностью траекторий инфразвуковой волны в атмосфере, а также влиянием атмосферного ветра. Оказалось, что полученные значения v близки к тем, что описаны в литературе [7].

ВЫВОДЫ

1. Во временной зависимости флуктуаций давления в атмосфере выделены инфразвуковые сигналы, сгенерированные полетом и взрывом Челябинского метеороида.
2. В спектре инфразвукового сигнала содержались гармоники с периодом примерно от 10 до 100 с. Максимум энергии приходился на периоды 30 – 50 с.
3. Скорость прихода гармоник с периодом ~ 10 с примерно на 8 м/с меньше скорости прихода гармоник с периодом ~ 100 с. Скорость последних в зависимости от трассы равнялась 293 и 302 м/с.
4. Длительность цуга инфразвукового сигнала составляла около 25 и 35 – 40 мин для трасс в 15500 и 25000 км соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popova O. P., Jenniskens P., Emel'yanenko V., et al. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization // *Science*. – 2013. – V. 342. – P. 1069 – 1073.
2. Popova O. P., Jenniskens P., Emelyanenko V. et al. Supplementary material for Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization // Электронный ресурс: www.sciencemag.org/cgi/content/full/science.1242642/DC1.
3. Алпатов В. В., Буров В. А., Вагин Ю. П., и др. Геофизические условия при взрыве Челябинского (Чебаркульского) метеороида 15.02.2013 г. // М.: ФГБУ "ИПГ". – 2013. – 37 с.
4. Метеорит Челябинск – год на Земле: материалы Всероссийской научной конференции / [редкол.: Н. А. Антипин и др.; сост. Н. А. Антипин]. – Челябинск, 2014. – 694 с.
5. Черногор Л. Ф. Плазменные, электромагнитные и акустические эффекты метеорита «Челябинск» // *Инженерная физика*. – 2013. – № 8. – С. 23 – 40.
6. Chernogor L. F., Advanced Methods of Spectral Analysis of Quasiperiodic Wave-Like Processes in the Ionosphere: Specific Features and Experimental Results // *Geomagnetism and Aeronomy*. – 2008. – V. 48, No 5. – P. 652 – 673.
7. Le Pichon A., Blanc E., Hauchecorne A. *Infrasound monitoring for atmospheric studies*. – Springer Dordrecht Heidelberg London New York. – 2010. – 734 p.