

СИСТЕМНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ, СГЕНЕРИРОВАННЫХ В ТЕЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ КАТАСТРОФЫ

¹Л.Ф. Черногор, ²А.И. Лящук, ¹Н.Б. Шевелев

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

²Главный центр специального контроля НЦУИКС ГКА Украины, Городок, Украина

SYSTEM SPECTRAL ANALYSIS OF INFRASONIC SIGNALS GENERATED DURING MAN-MADE DISASTER

¹L.F. Chernogor, ²O.I. Liashchuk, ¹M.B. Shevelev

¹V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

²Main Center of the Special Monitoring National Center of State Space Agency of Ukraine, Gorodok, Ukraine

Аннотация. Изучены особенности волновых форм инфразвуковых сигналов, их амплитуд и спектрального состава при дальнем (~218–375 км) распространении волн, сгенерированных в течение техногенной катастрофы на арсенале боеприпасов вблизи г. Ичня (Украина) 9–10 октября 2018 г. Показано, что при увеличении энерговыделения от 2 до 49.9 т ТНТ наблюдалась тенденция к увеличению амплитуды и периода преобладающего колебания. Длительность цугов колебания при этом увеличивалась от ~5 до 7 с. Выявлено, что при энерговыделении, равном 49.9 т ТНТ, в спектре колебаний преобладали гармоники с периодами от 1 до 2 с. Рассчитано, что средняя скорость прихода волн изменялась в пределах 310–340 м/с.

Ключевые слова: техногенная катастрофа, системный спектральный анализ, параметры инфразвука.

Abstract. The features of the waveforms, amplitudes, and spectral content of the infrasonic signals which propagated over long distances (~218, 375 km) from the ammunition depot near Ichnia town (Ukraine) on October 9–10, 2018 during the man-caused catastrophe are investigated. It was shown that an upward trend in the amplitude and period of the predominant oscillation were observed when the energy release increased from 2 to 49.9 tons of TNT. The duration of the oscillation trains increased from ~5 to 7 s. The analysis has revealed that the harmonics in the 1 to 2 s period range were predominant when the energy release was equal to 49.9 tons of TNT. The average celerity of waves was calculated to change within 310 to 340 m/s.

Keywords: man-made catastrophe, system spectral analysis, infrasound parameters.

ВВЕДЕНИЕ

С целью изучения прямых и обратных, положительных и отрицательных связей между подсистемами системы Земля (внутренние оболочки) — атмосфера–ионосфера–магнитосфера проводятся активные эксперименты. Одной из разновидностей активных экспериментов является воздействие на систему Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера мощным химическим взрывом. Примером такого активного эксперимента с энерговыделением в 260 т ТНТ был специальный проект «МАССА» [Альперович и др., 1985; Гохберг, Шалимов, 2008]. В результате реализации этого проекта было изучено действие на указанную систему отдельного взрыва. Теоретические основы физических процессов в подсистемах системы Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера, вызванных мощным химическим взрывом, развиты в ряде работ [Гохберг, Шалимов, 2008; Черногор, 2012]. Установлено, что мощный химический взрыв воздействует на все геосферы: генерирует сейсмические волны (волны Рэлея) в литосфере, электрические возмущения, магнитные возмущения, электромагнитное излучение, акустико-гравитационные волны (АГВ) в атмосфере, перемещающиеся ионосферные возмущения, МГД-волны в околоземной плазме [Альперович, 1985; Гохберг, Шалимов, 2008; Черногор, Гармаш, 2018; Черногор и др., 2018].

Реакция околоземной среды на массовые, но относительно слабые химические взрывы, изучена недостаточно. Лишь отдельные работы посвящены подобным исследованиям. Массовые взрывы имеют место

при карьерных разработках полезных ископаемых [Адушкин и др., 2000], в течение военных действий [Черногор, 2003], а также при авариях и катастрофах на военных складах [Черногор, 2006; 2008а; 2012].

Важно, что массовые химические взрывы сопровождаются пожарами, которые сами по себе являются источниками АГВ, электрических и магнитных возмущений и электромагнитных излучений.

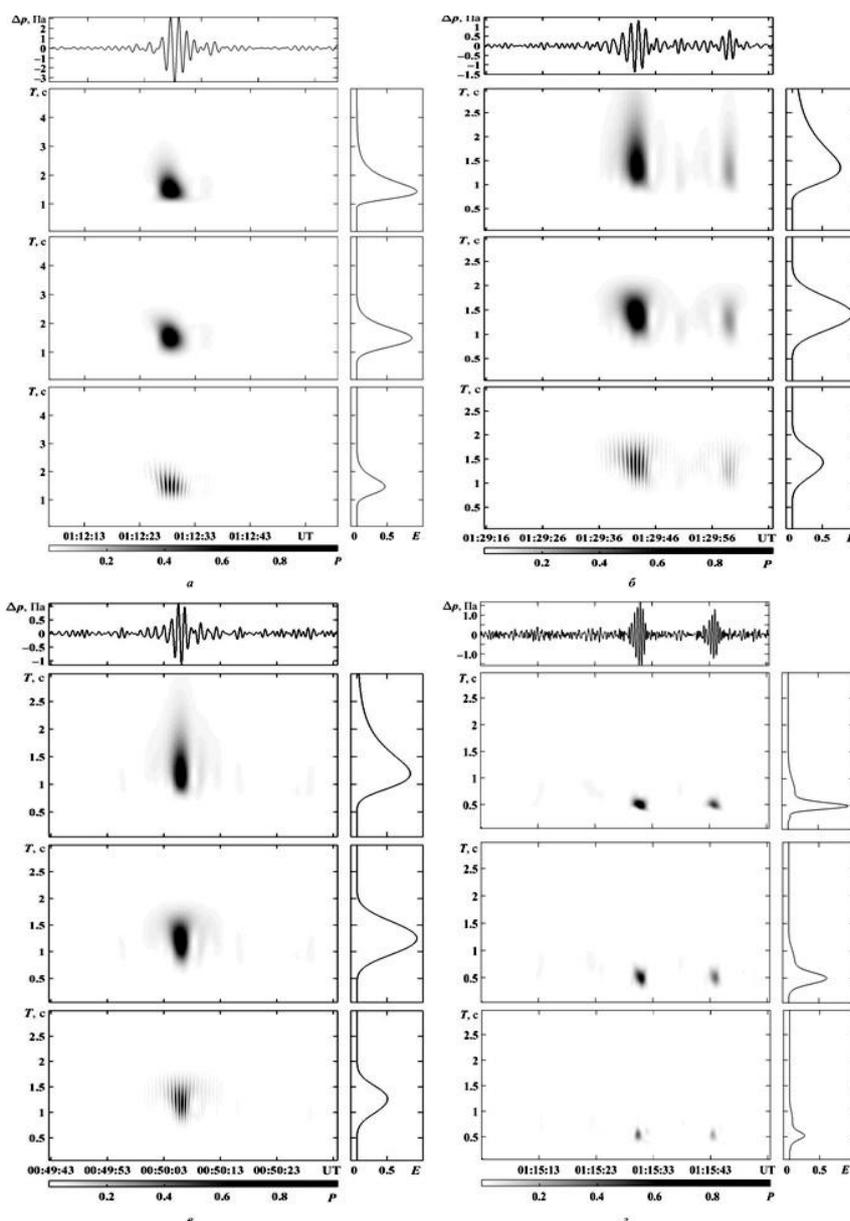
Физические эффекты и экологические последствия массовых химических взрывов и сопутствующих пожаров обсуждаются в работах [Черногор, 2006; 2008; 2012; Черногор, Гармаш, 2018; Черногор и др., 2018]. Главный вывод этих работ состоит в том, что реакция на такое воздействие может проявляться во всех подсистемах системы Земля–атмосфера–ионосфера–магнитосфера.

Основной эффект массовых химических взрывов заключается в генерации взрывных волн, которые на достаточно больших расстояниях трансформируются в инфразвуковые волны. Особенности распространения таких волн в условиях повторяющихся взрывов, сопровождаемых пожарами, изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является изложение результатов системного спектрального анализа инфразвуковых сигналов, сопровождавших массовые взрывы в течение сильнейшей техногенной катастрофы под г. Ичня (Украина) 9–10 октября 2018 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОГЕННОЙ КАТАСТРОФЕ

На военных складах, дислоцированных вблизи г. Ични, Черниговская обл., Украина, находилось около



Результаты ССА инфразвуковых сигналов, сгенерированных взрывами с различным энерговыделением: *a* — 49.9 т ТНТ; *б* — 29.1 т ТНТ; *в* — 17.0 т ТНТ; *г* — 2.3 т ТНТ

69.5 тыс. т боеприпасов (около 3 тыс. условных вагонов). Площадь арсенала — 682 га. Его географические координаты: 50°51'45" N, 32°23'39" E. На складах хранились артиллерийские снаряды различных калибров, а также ракеты залпового огня «Смерч», «Ураган» и «Град». Радиус разлета последних мог достигать десятков километров, а радиус разлета осколков рвущихся снарядов — 3–5 км.

Первая серия массовых взрывов с энерговыделением в 17 т ТНТ прогремела 9.11.2018 г. в 00:38:25 UT (здесь и далее всемирное время). Массовые взрывы прекратились лишь 10 октября в 11:50:08 UT. Всего отмечено 45 серий массовых взрывов. Их энерговыделение изменялось от 0.22 до 49.9 т ТНТ. Суммарное энергосодержание на арсенале составляло около 30 кт ТНТ. Прореагировала лишь часть всех боеприпасов. Взрывы сопровождалась масштабными пожарами. Высота пламени достигала 100–150 м, а высота подъема нагретых продуктов — нескольких километров.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для наблюдения использовались измерительные средства Главного центра специального контроля. К ним, в частности, относятся инфразвуковые и сейсмические станции. Станции оборудованы микробарографами, функционирующими в диапазонах частот 0.3–10 Гц (Малин) и 0.03–0.3 Гц (Балта) соответственно. Диапазон измеряемых вариаций давления микробарографов составлял 0.01–100 Па. ст. Малин (50.70° N, 29.22° E), удаленная от арсенала на 218 км, имеет три канала регистрации инфразвуковых сигналов. Одноканальная станция Балта (47.94° N, 29.60° E) удалена от эпицентра катастрофы на 375 км.

Для определения моментов взрывов и оценки их интенсивности нами использовались измерения на 24-элементной сейсмической станции PS45 Международной системы мониторинга, дислоцированной возле г. Малин (50.70° N, 29.22° E).

Методика обработки данных наблюдений в настоящих исследованиях сводилась к следующему. Сначала результаты измерений временных зависимостей давления $\Delta p(t)$ переводились из относительных единиц в абсолютные. Далее зависимости $\Delta p(t)$ подвергались фильтрации в диапазоне периодов 0.2–5 с. Затем осуществлялся системный спектральный анализ (ССА) отфильтрованных зависимостей $\Delta p(t)$ при помощи оконного преобразования Фурье (ОПФ), адаптивного преобразования Фурье (АПФ) и вейвлет-преобразования (ВП) с использованием базисной функции Морле [Черногор, 2008]. Как известно, ОПФ обладает лучшим разрешением по времени, АПФ — по периоду. ВП имеет свойства математического микроскопа.

Пример результатов анализа приведен на рисунке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При увеличении энергоснабжения от 2 до 49.9 т ТНТ наблюдалась тенденция к увеличению амплитуды (от 0.5 до 3 Па) и периода (примерно от 0.5 до 2 с) преобладающего колебания. Длительность цугов колебания при этом увеличивалась от ~5 до 7 с. Значение среднего квадрата амплитуды сигнала примерно пропорционально энергии взрыва.

2. При энергоснабжении, равном 49.9 т ТНТ, в спектре колебаний преобладали гармоники с периодом от 1 до 2 с. Длительность цугов колебаний с такими периодами составляла 7 с.

3. Средняя скорость прихода волн изменялась в пределах 330–340 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адушкин В.В., Спивак А.А., Соловьев С.П. и др. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах // Геоэкология. 2000. № 6. С. 554–563.

Альперович Л.С., Гохберг М.Б., Дробжев В.И. и др. Проект МАССА исследование магнитосферно-атмосферных связей при сейсмоакустических явлениях // Физика Земли. 1985. № 11. С. 5–8.

Гохберг М. Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука, 2008. 295 с.

Черногор Л.Ф., Гармаш К.П. Магнито-ионосферные эффекты, сопровождавшие сильнейшую техногенную катастрофу // Геомагнетизм и аэрономия. 2018. Т. 58, № 5. С. 700–712.

Черногор Л.Ф., Ляшук А.И., Шевелев Н.Б. Параметры инфразвуковых сигналов в атмосфере, сгенерированных массовыми взрывами на арсенале боеприпасов // Радиофизика и радиоастрономия. 2018. Т. 23, № 4. С. 280–293.

Черногор Л.Ф. Физические процессы в околоземной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (март–апрель 2003 г.) // Космічна наука і технологія. 2003. Т. 9, № 2/3. С. 13–33.

Черногор Л. Ф. Экологические последствия массовых химических взрывов при техногенной катастрофе // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. № 6. С. 522–535.

Черногор Л.Ф. Современные методы спектрального анализа квазипериодических и волновых процессов в ионосфере: особенности и результаты экспериментов // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48, № 5. С. 681–702.

Черногор Л.Ф. Геоэкологические последствия взрыва склада боеприпасов // Геоэкология. Инженерная геология // Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 4. С. 359–369.

Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2012. 556 с.