

УДК 550.388.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАЗВУКА В ИОНОСФЕРЕ (ОБЗОР)

И.Ю. Лобычева, А.Г. Ким

EXAMINING INFRASOUND IN THE IONOSPHERE (REVIEW)

I.Yu. Lobycheva, A.G. Kim

Инфразвуковые сигналы наблюдаются от различных источников как естественного, так и искусственного происхождения. Инфразвуковые волны могут распространяться на большие расстояния без существенного затухания, сохраняя информацию о свойствах атмосферы по трассе прохождения и об источниках, их порождающих. По характеристикам записываемого электрического сигнала можно определить источник и смоделировать трассу распространения инфразвука. Инфразвук может распространяться на различных высотах (в областях увеличения скорости звука с высотой). В данной работе уделено внимание исследованиям инфразвука на ионосферных высотах.

Infrasonic signals are observed from different sources both natural and artificial occurring. Infrasonic waves can enlarge upon long distances without important fading and with this they preserve information about atmospheric properties along its way and about sources which bring to birth them. According to electric signal characteristics one can determine the source and make the way of infrasound spreading. Infrasound can spread on different heights (in regions of increasing sound velocity with the height). In this project attention is paid to infrasound investigations on ionosphere heights.

Научный и практический интерес к инфразвуковым волнам обусловлен тем, что они обладают замечательным свойством распространяться на огромные расстояния, перенося информацию о самом источнике и о среде распространения. [Бреховских, 1968; Госсард, Хук, 1978; Пономарев, Сорокин, 1997].

Источники инфразвука могут быть как естественными (при землетрясениях, во время бурь, цунами, шторма в океане) так и техногенными (станки, транспорт, подводные и подземные взрывы).

Источники инфразвука можно достаточно условно разделить на две категории – импульсные с относительно широким спектром и непрерывного действия.

Важным стимулом для начала исследований распространения инфразвука явилось обнаружение аномальных зон слышимости звука [Месси, 1962], названных так потому, что они находились за пределами окружавших источник кольцеобразных зон молчания. Одни из первых систематических исследований распространения инфразвука были проведены в начале века в Японии. В этих работах изучалось распространение звука от извержений вулканов и в качестве источников информации использовались показания наблюдателей. Было обнаружено, что аномальные зоны слышимости имеют очаговый характер и обладают сильно вытянутой геометрией в определенном направлении. На основании этого было сделано предположение о существовании в верхней атмосфере сильных ветровых потоков, приводящих к образованию зон молчания и слышимости наблюдаемых размеров и форм.

Основными каналами распространения являются акустические волноводы, формируемые стратификацией температуры и ветра в приземном слое атмосферы, верхней стратосфере и термосфере.

Строение атмосферы Земли таково, что скорость звука имеет два или даже три минимума в интервале от поверхности земли до 100 км – на высоте около 80, 20 км и у поверхности земли при наличии температурной инверсии. Эти температурные миниму-

мы проявляют себя как оси акустических волноводов. Дальнее распространение инфразвука оказывается возможным постольку, поскольку возможен захват и вывод акустического излучения в этих волноводах. На эмпирическом уровне этот феномен выглядит как появление (открытие) или исчезновение (закрытие) атмосферных акустических каналов (ААК). Наряду с волноводным существует, конечно, и скачковое распространение. Основной уровень отражения при этом – область быстрого повышения температуры в нижней термосфере на высоте 90–100 км. Длина скачка около 150–300 км.

В настоящее время работы проводятся как по изучению акустических тропосферных волноводов [Сорокин и др., 2007; Lobycheva et al., 2004; Ponomarev et al., 2006], так и по изучению распространения инфразвука на высотах более 50 км [Куличков, 1992; Куличков, Буш, 2001; Куличков и др., 2004].

Ионосферный эффект от взрывов проявляется в вариациях фазового пути по времени при наблюдениях отраженного от области F сигнала на слабонаклонных трассах. В ионосферу проникает акустическая энергия в узком пучке «звуковых трубок» с раствором порядка десятка градусов. При подземных взрывах, а также при землетрясениях акустическая волна выходит из земли с малым раствором волновых векторов, относительный эффект воздействия на ионосферу оказывается заметным, в то время как в атмосферный волновод поступает малая доля энергии. Из ионосферы на Землю сигнал также приходит в узком конусе вблизи зенита. Эта особенность позволяет выделить по углам прихода слабый ионосферный сигнал на фоне более сильного тропосферного шума [Ерущенко и др., 1993; Пономарев, Ерущенко, 1977].

В верхних слоях ионосферы акустические возмущения проявляются также от полярных сияний. В частности, это может приводить к возникновению макроскопического движения частиц вдоль силовых линий геомагнитного поля. Для ионосферной плазмы частота столкновений частиц значительно больше частоты звуковых колебаний и поглощение их

обусловлено обычными классическими диссипативными процессами, например электронной теплопроводностью, усиленной «опрокидыванием» волн. [Сенаторов, 1991].

Известна реакция ионосферы на воздействие акустико-гравитационных волн, возникающих при землетрясениях, извержениях вулканов, мощных воздушных, наземных, глубинных взрывов [Гохберг и др., 1981].

Проблема распространения инфразвука к ионосферным высотам рассматривается в работах Дроба [Drob, 2003]. Точные атмосферные погодные параметры могли бы улучшить точность определения местоположения источника инфразвука. Способы получения этих параметров различны, поэтому сегодня множество независимых теоретических и экспериментальных исследований по этому вопросу дают противоречивые результаты [Буш и др., 1997; Drob, 2003; Liszka, 1974].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бреховских Л.М. Об излучении океанскими волнами инфразвука в атмосфере // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. 4, № 4. С. 444–450.
- Буш Г.А., Иванов Е.А., Куличков С.Н., Педанов М.В. Некоторые результаты по регистрации акустических сигналов от высотных взрывов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 1997. Т. 33, № 1. С. 67–71.
- Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978. 532 с.
- Гохберг М.Б., Гершензон Н.И., Гуфельд И.Л. и др. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу // Геомагнетизм и аэронавигация. 1984. Т. 24, № 2. С. 217–222.
- Ерущенков А.И., Пономарев Е.А., Сорокин А.Г., Орлов В.В. Основные результаты исследований атмосферного инфразвука в ИСЗФ (1972–1992 гг.) // Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. Вып. 100. Новосибирск: Наука, 1993. 246 с.
- Куличков С.Н. Дальнее распространение звука в атмосфере (обзор) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 1992. Т. 28, № 4. С. 339–360.
- Куличков С.Н., Буш Г.А. Быстрые вариации инфразвуковых сигналов на больших расстояниях от однотипных взрывов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37, № 3. С. 331–338.
- Куличков С.Н., Авилов К.В., Буш Г.А. и др. Об аномально быстрых инфразвуковых приходах на больших расстояниях от наземных взрывов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2004. Т. 40, № 1. С. 3–12.
- Месси Х.С.В., Бойд Р.Л.Ф. Верхняя атмосфера. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 376 с.
- Пономарев Е.А., Сорокин А.Г. Некоторые аспекты распространения инфразвука от ядерных взрывов // Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. Вып. 106. Новосибирск: Наука, 1997. С. 225–232.
- Пономарев Е.А., Ерущенков А.И. Инфразвуковые волны в атмосфере Земли (обзор) // Известия вузов. Радиопизика. 1977. Т. 20, № 12. С. 1274.
- Сенаторов В.Н. О генерации магнитного поля в ионосфере инфразвуковыми волнами // Геомагнетизм и аэронавигация. 1991. Т. 31. С. 727–729.
- Сорокин А.Г., Пономарев Е.А., Лобычева И.Ю. О реконструкции атмосферного акустического канала по данным системы IDEAS // Солнечно-земная физика. 2007. № 10. С. 113–118.
- Drob D.P. Detailed specifications of the atmosphere for infrasound propagation modeling // SRR 2003. Proceedings 25th Seismic Research Review “Nuclear Explosion Monitoring: Building and Knowledge Base”, 23–25 September, 2003, Tucson Arizona. <https://www.nemre.nnsa.doe.gov/review2003/papers/07-04.pdf>.
- Liszka L. Long distance propagation of infrasound from artificial sources // J. Acoust. Soc. Am. 1974. V. 56. P. 1383–1388.
- Lobicheva I.U., Ponomarev E.A., Rudenko G.V., Sorokin A.G. Influence of meteorologic conditions to propagation conditions of an infrasound, in Eleventh International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics / Atmos. Phys. Ed. Gennadii G. Matvienko, Vladimir P. Lukin // Proceedings of SPIE. 2004. V. 5743. P. 638–643.
- Ponomarev E.A., Rudenko G.V., Sorokin A.G., et al. Using the normal-mode method of probing the infrasonic propagation for purposes of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2006. V. 68. P. 559–614.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск