

ON THE POSSIBILITY OF GENERATING LOW-FREQUENCY INFRASOUND WHISTLERS IN THE LOWER IONOSPHERE DURING THE PASSAGE OF POWERFUL ATMOSPHERIC FRONTS

¹Gokov A. M., ²Tyrnov O. F.

¹Kharkiv S. Kuznets National University of Economic
9a Lenin Avenue, Kharkiv, 61166, Ukraine

²Kharkiv V. N. Karazin National University
Ph.: (+38 057-7051251, e-mail: amg_1955@mail.ru)

Abstract — Experimentally confirmed that by passing the powerful atmospheric fronts is possible generation of infrasound waves with frequencies of 0.4 – 0.8 Hz, which penetrate to the heights of the E region of the ionosphere ($z \geq 100 - 170$ km.). On the basis of the mechanism of the transformation of infrasonic waves in the ionosphere in the low-frequency whistlers and the resulting dispersion relation experimentally determined frequency whistler 7 – 11,3 kHz, which are in good agreement with theoretical calculations and well-known in the literature experimental data.

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИСТЛЕРОВ ИНФРАЗВУКОМ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ ПРОХОЖДЕНИЯ МОЩНОГО АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА

¹Гоков А. М., ²Тырнов О. Ф.

¹Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнецца
г. Харьков, пр. Ленина 9а, Украина, 61166

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
тел.: +38 057-7051251, e-mail: amg_1955@mail.ru

Аннотация — Экспериментально подтверждено, что при прохождении мощного атмосферного фронта возможна генерация инфразвуковых волн с частотами 0,4 – 0,8 Гц, которые проникают до высот Е-области ионосферы ($z \geq 100 - 170$ км.). На основе механизма трансформации инфразвуковых волн в ионосфере в низкочастотные вистлеры и полученного дисперсионной соотношения экспериментально определены частоты вистлеров 7 – 11,3 кГц, которые хорошо согласуются с теоретическими расчетами и известными в литературе экспериментальными данными.

I. Введение

Известно, что мощные атмосферные процессы (циклоны, струйные течения, ураганы, сильные грозы и т. д.) сопровождаются генерацией АГВ и, в частности, инфразвуковых волн. Последние, распространяются как в горизонтальном направлении от источника, так и вверх, достигают высот 170 – 200 км и выше и взаимодействуют с магнитоактивной плазмой, что приводит к появлению дополнительных токов и возмущению электрических и магнитных полей, то есть к генерации или усилению различных волн. В [1] показана возможность генерации низкочастотного вистлера инфразвуком и разработана методика определения частот низкочастотных вистлеров, генерируемых инфразвуком в среднеширотной нижней ионосфере вблизи эпицентра сильной грозы и при прохождении мощного атмосферного фронта (АФ) в атмосфере Земли. Определена связь между частотами инфразвука f_1 и частотами вистлеров f_3 , генерируемых в этой области высот:

$$f_3 = \frac{c^2}{v_1^2} \frac{f_1^2 f_{Be}}{f_p^2} \cos \theta \cos \theta_1, \quad (1)$$

где θ_1 – угол между вертикалью и направлением распространения инфразвуковых волн в ионосфере; c – скорость света; v_1 – скорость инфразвука; f_{Be} – гирочастота электронов; f_p – плазменная частота. В работе выполнена экспериментальная проверка возможности генерации низкочастотного вистлера инфразвуком и определены частоты низкочастотных вистлеров, генерируемых инфразвуком в среднеши-

ротной нижней ионосфере при прохождении мощного АФ в атмосфере Земли.

II. Основная часть

Экспериментальные исследования проведены в периоды прохождений 4 мощных АФ с помощью комплекса аппаратуры [2] методами частичных отражений (ЧО) и вертикального доплеровского зондирования (ВДЗ) вблизи г. Харькова в радиофизической обсерватории ХНУ им. В.Н. Каразина. Измерения выполнялись в течение 3 – 5 суток при прохождении мощного АФ (в спокойных гелио-геомагнитных условиях). Временные параметры АФ определялись по метеорологическим показателям в Харьковском гидрометеоцентре. Решались три задачи: 1) по измерениям доплеровского сдвига частоты f_d при вертикальном зондировании ионосферы в зоне прохождения мощного АФ определить частоту инфразвуковых волн как $f_1 = f_d$; 2) по измерениям амплитуд частично отраженных радиосигналов $A_{so,x}(z,t)$ и радишумов $A_{no,x}(z,t)$ попробовать экспериментально получить подтверждение генерации инфразвуковых волн в атмосфере при прохождении мощного атмосферного фронта. С применением спектральной обработки высотно-временных записей амплитуд $A_{so,x}(z,t)$ определить частоту инфразвуковой волны f_1 ; 3) при одновременных измерениях методами ЧО и ВДЗ сравнить полученные значения частот инфразвука f_1 и по соотношению (1) вычислить частоты низкочастотных вистлеров f_3 , генерируемых в этой области высот. Анализ экспериментальных данных показал, что при

прохождении АФ в отличие от времени до и после него наблюдаются квазипериодические изменения $A_{so,x}(z,t)$ в течение десятков минут [1]. При этом имеет место перемещение процесса по высоте с кажущейся скоростью перемещения $\sim 330 - 380$ м/с.



Рис. 1. Временные зависимости спектральной плотности G для $A_{so}(t)$, полученные при прохождении АФ методом ЧО 29.10.2004 г., кривые: 1 - $z = 75$ км; 2 - $z = 84$ км; 3 - $z = 93$ км ($f = 0,4$ Гц).

Fig. 1. The time dependences of the spectral density G obtained during the passage of the AF by the PR method 29.10.2004, curves 1 - $z = 75$ km; 2 - $z = 84$ km; 3 - $z = 93$ km ($f = 0,5$ Hz)

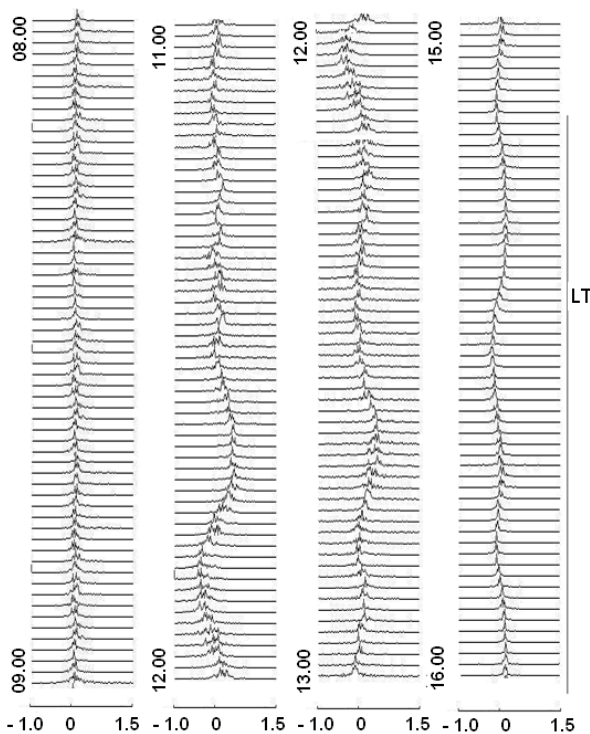


Рис. 2. Пример доплеровских спектров, полученных в эксперименте 29.10.2004 г.

Fig. 2. Example of the Doppler spectra obtained in the experiment 29.10.2004

При спектральной обработке зависимостей $A_{so,x}(z,t)$ (проведена для $z = 75, 78, 81, 84, 87, 90$ и 93 км) обнаружено заметное увеличение энергии спектральной составляющей на частоте $f \approx 0,4$ Гц (см. пример на рис. 1 для эксперимента, проведенного 29.10.2004 г.), что соответствует инфразвуковому диапазону. Можно предположить, что такое поведение $A_{so,x}(z,t)$ при прохождении АФ может быть обусловлено появлением инфразвуковых акустических волн, которые с малыми потерями распространяются в атмосфере от источника. На рис. 2 приведен пример доплеровских спектров, полученных в этом же эксперименте. Из рис. 2 видно, что примерно после 11.30 LT четко прослеживается сначала рост значе-

ний f_d до $f_{dm} \approx 0,3$ Гц (максимальное значение f_d) с последующим уменьшением их примерно до $f_d \approx -0,4$ Гц в течение 15 минут и последующими увеличениями и уменьшениями значений f_d в пределах $f_d \approx \pm 0,3 - 0,35$ Гц. После прохождения АФ в течение примерно 60 мин. $f_d \sim 0 - 0,1$ Гц как и до него. Такое изменение f_d , по-видимому, связано с генерацией инфразвуковых волн при прохождении АФ. Важно, что в фоновых измерениях в контрольный день 27.10.2004 г. подобных изменений не установлено (как и в ряде других экспериментов в невозмущенных условиях). В других экспериментах наблюдалось подобное поведение f_d и $A_{so,x}(z,t)$ (значения f_d изменялись в пределах $f_d \approx \pm 0,4 - 0,55$ Гц). На основе механизма трансформации инфразвуковых волн в Е-области ионосферы в низкочастотные вистлеры и полученного дисперсионного соотношения (1) на основе экспериментальных данных определены частоты вистлеров $f_3 \approx 7 - 11,3$ кГц. Расчеты выполнены в предположении, что вистлер распространяется вдоль направления геомагнитного поля $\theta = 0^\circ$; инфразвуковая волна распространяется вертикально вверх и $\theta_1 = 30^\circ$, что соответствует магнитному наклонению $\sim 60^\circ$ в средних широтах. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таб. 1. Результаты расчетов частот вистлеров

Tab. 1. The results of calculations frequencies of whistlers

Дата (Date)	h , км	f_1 , Гц (Hz)	f_3 , кГц
29.10.2004	170	0,4	7,2
02.04.2004	170	0,4	7,2
08.02.2007	160	0,5	11,3
22.03.2007	160	0,4	7,2

III. Заключение

1. Экспериментально установлено с использованием методов ВДЗ и ЧО, что при прохождении мощного АФ возможна генерация инфразвуковых волн с частотами $f_1 \approx 0,4 - 0,8$ Гц, которые проникают до высот Е-области ионосферы ($z \approx 100 - 200$ км.).

2. На основе механизма трансформации инфразвуковых волн в Е-области ионосферы в низкочастотные вистлеры и полученного дисперсионного соотношения экспериментально определены частоты вистлеров $f_3 \approx 7 - 11,3$ кГц, которые хорошо согласуются с теоретическими расчетами и известными в литературе экспериментальными данными.

IV. References

- [1] Gokov A. M. *Otklik sredneshirotnoy D-oblasti ionosfery na prirodnye javleniya* [The response of the midlatitude D-region of the ionosphere on natural phenomena]: monograph. ISBN 978-3-659-62182-6 LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland (Germany). 2014. 300 p.
- [2] Tyrnov, O. F., Garmash K. P., Gokov A. M., Gritchin A. I., Dorohov V. L., Kontzevaya L. G., Kostrov L. S., Leus S. G., Martynenko S. I., Misyura V. A., Podnos V. A., Pokhilko S. N., Rozumenko V. T., Somov V. G., Tsymbal A. M., Chernogor L. F., Shemet A. S. The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere. *Turkish Journal of Physics*, 1994, Vol. 18, No. 11, pp. 1260–1265.