

УДК 621 371.25

О КОРРЕЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЙ СВИСТЯЩИХ АТМОСФЕРИКОВ С РАБОТОЙ МОЩНОЙ СВЕРХДЛИННОВОЛНОВОЙ СТАНЦИИ

Л. М. Оболенский, Ю. Я. Яшин

Приводятся результаты измерений частоты появлений свистящих атмосфериков f при наличии и в отсутствие в ионосфере мощных сигналов СДВ станции

В настоящее время известны работы, где описаны наблюдения магнитосферного распространения мощных ультранизкочастотных радиосигналов (см, например, [1]). Представляет интерес качественно оценить воздействие мощных СДВ полей на ионосферу по измерениям частоты появления f свистящих атмосфериков [2, 3] в зависимости от времени суток при наличии или отсутствии СДВ полей в ионосфере над приемным пунктом.

Наблюдения f производились в довольно высоких широтах (магнитное наклонение составляло около 25°). Прием свистящих атмосфериков осуществлялся с помощью 12-метровой вертикальной антенны и усилителя с полосой 1—20 кГц. Среднее значение f определялось как количество атмосфериков, записанных за час, деленное на 60.

Измерения показывают, что величина f существенно увеличивалась при наличии в ионосфере мощных СДВ полей. Результаты наблюдений в период с 25 марта по 16 апреля 1971 г. от 17 до 02 часов местного времени приведены на рис. 1. Сплошной линией обозначен средний временной ход появляемости свистящих атмосфериков в отсутствие, а штриховой — при работе мощной СДВ станции.

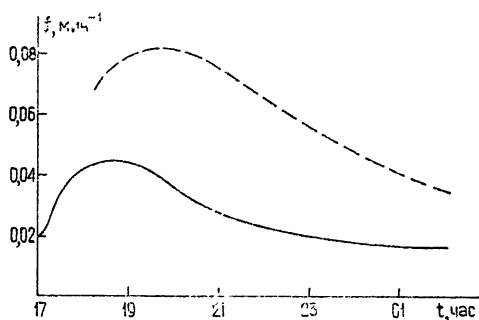


Рис. 1.

штриховой — при работе мощной СДВ станции.

Причиной описанного изменения временной зависимости f может являться образование неоднородностей с повышенным или пониженным по сравнению с окружающей средой показателем преломления ниже максимума F -области под действием мощных радиосигналов [4].

При наличии подобных неоднородностей на поверхность Земли могут выходить те сигналы, которые претерпели бы полное внутреннее отражение на границе ионосфера — вакуум в плоскостной ионосфере

Оценки изменения показателя преломления в возмущенной области n_h и в невозмущенной области n при частоте станции $\Omega = 15$ кГц ($\omega = 2\pi\Omega$) от 100—120 км до 200—250 км для ночной ионосферы могут

быть проведены по результатам работы [4] (в [4] рассматривался случай $\omega \gg \nu_{\text{эфф}}$, где $\nu_{\text{эфф}}$ — эффективное число соударений электронов с тяжелыми частицами). Необходимые для оценок значения электронной концентрации N , концентрации молекул N_m , суммарной температуры электронов и ионов T взяты из [5], а оценки эффективного числа соударений для высот 80—130 км проведены на основе соотношений § 5 монографии [6].

При расчетах принимались во внимание два механизма изменения показателя преломления — стрикционный (n_{k_c}) и нагревный (n_{k_T}). С учетом того, что для обыкновенной волны оба механизма дают поправки к квадрату показателя преломления положительного знака [4], имеем*

$$\begin{aligned} n_{k_c}^2 &\approx 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega \omega_H} \left(1 + \frac{e^2 |E|^2}{4\kappa T m \omega \omega_H} \right), \\ n_{k_T}^2 &= 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega \omega_H} \left(1 + \frac{e^2 |E|^2}{3\omega_H^2 \kappa T m \delta} \right), \\ n^2 &= 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega \omega_H}, \quad \omega_0, \omega_H \gg \omega \gg \nu_{\text{эфф}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где e и m — заряд и масса электрона, ω_0 и ω_H — ленгмюровская и гирочастота электронов, κ — постоянная Больцмана, δ — доля энергии, теряемая электроном при соударении с тяжелой частицей.

Основным механизмом изменения n является нагревный, так как $\frac{\beta_c}{\beta_T} = \frac{3}{4} \frac{\omega_H}{\omega} \delta \approx 5 \cdot 10^{-2}$, где

$$\begin{aligned} \beta_c |E|^2 &= \frac{\omega_0^2 e^2 |E|^2}{4\kappa T m \omega^2 \omega_H^2} = n_{k_c}^2 - n^2, \\ \beta_T |E|^2 &= \frac{\omega_0^2 e^2 |E|^2}{3\kappa T m \delta \omega \omega_H^3} = n_{k_T}^2 - n^2. \end{aligned}$$

Заметим, что к такому же, как в (1), изменению показателя преломления приводило бы изменение электронной концентрации:

$$\frac{\Delta N_{c,T}}{N} = \frac{m \omega \omega_H}{4\pi e^2 N} \beta_{c,T} |E|^2. \quad (2)$$

На высоте 80 км $\nu_{\text{эфф}} \sim \omega_0, \omega_H$. Для оценок показателя преломления (вообще говоря, комплексного) не будем учитывать магнитное поле и воспользуемся соотношением [5, 6]

$$|n| \sim \left| \frac{E}{E_p} \right|, \quad (3)$$

где E_p — характерное плазменное поле [6].

Поле E находится из соотношения

$$E^2 = \left(\frac{0,3\sqrt{W}}{z} \right)^2 \frac{1}{n} \left(\frac{B^2}{cM^2} \right),$$

* В рассматриваемом случае хорошо выполняются условия квазипродольного приближения, в частности $\omega \ll \omega_H \cos \alpha$ (α — угол между направлением распространения и внешним магнитным полем). Ниже для простоты полагаем $\cos \alpha = 1$.

Таблица 1

$z, \text{ км}$	$N_m, \text{ е.к.}^{-3}$	$N, \text{ е.к.}^{-3}$	$T, \text{ К}$	n	$\Psi = 10 \text{ кВТ}$		$\Psi = 10^2 \text{ кВТ}$		$\Psi = 10^3 \text{ кВТ}$		$\Psi = 10^4 \text{ кВТ}$	
					$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_T$	n_k	$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_T$	n_k	$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_T$	n_k	$\left(\frac{\Delta N}{N}\right)_T$	n_k
80	2,9·10	10	360	1,07		1,34		3,34		8,5		25
100	9,6·10	1,2·10	420	2,96	0,12	3,02	0,36	3,36	1,2	4,08	3,6	5,23
120	7,8·10	2,1·10	720	3,91	0,035	3,98	0,11	4,13	0,35	4,47	1,05	5,33
130	2,7·10	2,2·10	950	4,06	0,025	4,10	0,072	4,23	0,24	4,43	0,72	5,24
150	6,9·10	2,4·10	1320	4,08	0,013	4,08	0,037	4,12	0,122	4,30	0,37	5,10
200	8,4·10	3 ·10	1750	4,61	0,005	4,61	0,014	4,65	0,045	4,71	0,14	4,91
250	2 ·10	10	1910	8,2	0,002	8,2	0,005	8,2	0,015	8,22	0,05	8,36

где W — мощность излучения в киловаттах, а z — расстояние в километрах.

Результаты расчета по формулам (1) — (3) и значения ионосферных параметров, использованных при оценках, приведены в таблице (при $W = 10; 10^2; 10^3; 10^4$ кВт). Учитывая эффект полного внутреннего отражения на границе возмущенной и невозмущенной ионосферы, можно говорить о канализации свистов. Перепад показателей преломления на границе и высота, начиная с которой канал проявляется, зависят от W .

Таким образом, при наличии канала на Землю приходят частично те сигналы, которые в отсутствие возмущения отразились от границы ионосфера—вакуум.

Авторы признательны Б. Н. Гершману и Д. П. Котику за обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Я. И. Лихтер, О. А. Молчанов, В. М. Чмырев, Письма в ЖЭТФ, 14, № 6, 475 (1971).
- 2 R. A. Helliwell, Whistlers and related Ionospheric Phenomena, Stanford Univ Press., Stanford, 1965.
- 3 Б. Н. Гершман, В. А. Угаров, УФН, 72, вып. 2, 235 (1960)
- 4 А. Г. Литвак, ЖЭТФ, 57, № 8, 629 (1969).
- 5 А. В. Гуревич, А. Б. Шварцбург, Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере, изд. Наука, М., 1973
- 6 В. Л. Гинзбург, Распространение электромагнитных волн в плазме, изд. Наука, М., 1967.

Горьковский государственный университет

Поступила в редакцию
1 ноября 1974 г.

CORRELATION OF THE RATE OF OCCURRENCES OF WHISTLING ATMOSPHERICS WITH OPERATION OF A POWERFUL SUPER-LONG WAVE STATION

L. M. Obolenskii, Yu. Ya. Yashin

The results of measuring the rate of occurrences of whistling atmospherics f in the presence and in the absence of SLM station signals in the ionosphere are given.