

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ  
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 551.510.535

**МОДИФИКАЦИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЕ**

B. V. Беликович, E. A. Бенедиктов

Корреляционный метод измерения электронной концентрации  $N$  в  $D$ -области ионосферы основан, как известно [1-3], на определении коэффициента корреляции  $\rho$  амплитуд обыкновенной и необыкновенной радиоволн, рассеянных обратно неоднородностями плазмы. При этом величина  $\rho$  связана с параметрами среды соотношением

$$\rho = \frac{\sin^2 X + \operatorname{sh}^2 Y}{X^2 + Y^2} \frac{Y_0 Y_x}{\operatorname{sh} Y_0 \operatorname{sh} Y_x}, \quad (1)$$

где  $X = kL (\mu_0 - \mu_x)$ ,  $Y = kL (x_0 - x_x)$ ,  $Y_{0,x} = 2kLx_{0,x}$ ;  $\mu_{0,x}$  и  $x_{0,x}$  — показатели преломления и поглощения обыкновенной и необыкновенной волн в плазме,  $k$  — волновой вектор в свободном пространстве,  $L = \frac{c\tau}{2}$  — вертикальный размер области рассеяния, обусловленный длительностью зондирующего импульса  $\tau$ .

Наряду с очевидными достоинствами корреляционный метод обладает и существенными недостатками. В частности, для обычно применяемых частот 3—6 МГц верхняя граница определения  $N$  не превышает  $(1 \div 4) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  (см. подробнее [2, 3]). Кроме того, встречающаяся неравномерность (слоистость) распределения неоднородностей в объеме рассеяния приводит к занижению результатов измерений. Эти недостатки могут быть устранены, если находить коэффициент корреляции амплитуд различных нормальных волн на несколько отличающихся друг от друга частотах  $f_1$  и  $f_2$ . Легко показать, что в этом случае величина  $\rho$  будет выражаться таким же соотношением (1), где  $X = L(k_1 \mu_1 - k_2 \mu_2)$ ,  $Y = L(k_1 x_1 - k_2 x_2)$ ,  $k_1$  и  $k_2$  — волновые векторы в свободном пространстве,  $\mu_{1,2}$  и  $x_{1,2}$  — показатели преломления и поглощения нормальных волн на соответствующих частотах, а величины  $Y_0$  и  $Y_x$  следует заменить на  $Y_{1,2} = 2k_{1,2}Lx_{1,2}$ . Обратим внимание на то, что при определенном соотношении между рабочими частотами и плазменной частотой  $f_0$  разность  $k_1 \mu_1 - k_2 \mu_2 = X/L$  обращается в нуль, а коэффициент  $\rho$  независимо от размера  $L$  достигает максимума. В квазипротяжном приближении это соотношение имеет вид

$$f_0^2 = (f_1^2 - f_2^2) \left[ \frac{(f_1 - f_L)f_1}{(f_1 - f_L)^2 + \left(\frac{v}{2\pi}\right)^2} - \frac{(f_2 + f_L)f_2}{(f_2 + f_L)^2 + \left(\frac{v}{2\pi}\right)^2} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $f_L$  — продольная компонента гироизотропии,  $v$  — эффективное число электронных ударений, и предполагается, что на более высокой частоте  $f_1$  принимается обыкновенная компонента, а на более низкой  $f_2$  — необыкновенная. Таким образом, изменения на опыте расстройку  $\Delta f = f_1 - f_2$  и регистрируя максимум  $\rho$ , можно по соотношению (2) находить величину электронной концентрации. Очевидно, что при этом значительно расширяется диапазон измерений  $N$ , а также устраняются или существенно уменьшаются погрешности, вызванные стратификацией неоднородностей и неполным совпадением объемов рассеяния на разных частотах.

Можно полагать, что данная модификация корреляционного метода будет полезной при нахождении  $N(h)$ -профилей в области  $D$  вплоть до высот  $E$ -слоя, а ночью до высот  $F$ -области. Не исключено, что она может быть с успехом применена для измерений концентрации электронов в спорадических слоях  $E_s$ , а также во впадине выше максимума слоя  $E$ .

ЛИТЕРАТУРА

1 Н. Г. Денисов, В. В. Тамойкин, Изв. вузов — Радиофизика, 14, № 9, 1331 (1971).

2. Е. А. Бенедиктов, Л. В. Гришкевич, В. А. Иванов, Г. П. Комраков,  
Изв. вузов — Радиофизика, 14, № 9, 1452 (1971).  
3. Е. А. Бенедиктов, Л. В. Гришкевич, В. А. Иванов, Изв. вузов — Радиофизика, 15, № 5, 695 (1972).

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
11 сентября 1979 г.

УДК 550.388.2

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ И ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ

Л. С. Альперович, В. И. Дробжев, В. М. Краснов,  
В. М. Сорокин, Г. В. Федорович

К настоящему времени установлено, что распространение внутренних акустико-гравитационных волн (ВАГВ) приводит к волновым возмущениям (ВВ) электронной концентрации в ионосфере. Волновые возмущения среднемасштабного класса существуют по всей толще ионосферы в любое время суток и сезона [1, 2]. Естественно предположить, что изменения электронной концентрации под воздействием ВАГВ в нижней ионосфере должны приводить к вариациям геомагнитного поля.

Следует отметить, что вопросам связи флуктуаций электронной концентрации ионосферы с геомагнитным полем было посвящено много работ (см., например, § 19 [6], [7]). Однако они содержат противоречивые результаты, что, по-видимому, объясняется косвенными методами проверки, а также малой точностью измерений флуктуаций электронной концентрации.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка указанного предположения на основе одновременных наблюдений спектрального состава ВВ в ионосфере и вариаций  $H$ -компоненты геомагнитного поля как в спокойных условиях, так и во время активных воздействий типа мощных строительных взрывов.

Спектральный состав ВВ в ионосфере исследовался при регистрации доплеровского сдвига частоты  $f_D(t)$  при наклонном (трасса Ташкент — Алма-Ата) и вертикальном зондировании (Алма-Ата). Аппаратура и методика обработки записей описаны в [3, 4]. Частота наклонного зондирования во всех сеансах равнялась 2,5 Гц, что позволяло проводить исследования ВВ на высотах 75—85 км. Частота вертикального зондирования равнялась 5 Гц (высота отражения радиоволн 200—250 км). Точность доплеровских измерений при наклонном зондировании составляла величину  $\sim 0,005$  Гц и при вертикальном — 0,01 Гц. Изменения  $H$ -компоненты регистрировались на прецизионном кварцевом магнитографе с точностью 0,5 γ (Алма-Ата).

Для спектрального анализа выбирались записи длительностью 3—5 часов, полученные в дневное время. Перед обработкой устранился низкочастотный тренд с периодом более 1 часа. Частота дискретизации процессов — 2 мин для данных наклонного зондирования и 1 мин для данных вертикального зондирования и  $H$ -компоненты, при этом значения величин усреднялись за период дискретизации. Длительность корреляционного окна равнялась 50 мин. Спектры мощности исследуемых величин, рассчитанные за различные дни, усреднялись.

Расчет спектров мощности прежде всего показал, что как в  $D$ - и  $F$ -областях ионосферы, так и в вариациях  $H$ -компоненты геомагнитного поля отмечаются четко выраженные пики спектральной плотности. На рис. 1 представлены усредненные графики спектральной плотности для  $D$ - (рис. 1а, усреднено 45 сеансов),  $F$ -области (рис. 1б, усреднено 40 сеансов), а также вариаций  $H$ -компоненты (рис. 1в, усреднено 20 сеансов), полученных примерно в один и тот же период времени (1977—1978 гг.).

Из рис. 1а, б, в видно, что графики содержат фактически одни и те же частотные составляющие. Причина отсутствия 6 мин периода ВВ в  $F$ -области объясняется наивысшей частотой обрезания ВАГВ [1]. Интересно отметить, что спектральный состав ВВ мало изменяется от сезона к сезону [1]. Аналогичная картина имеет место и для вариаций  $H$ -компоненты геомагнитного поля. На рис. 1г приведен усредненный спектр мощности вариаций  $H$ -компоненты (усреднялось 16 сеансов, май 1979 г.). Видно его хорошее соответствие спектру на рис. 1в.

Таким образом, анализ фоновых флуктуаций  $f_D(t)$  и  $H(t)$  показал хорошее совпадение спектрального состава флуктуаций электронной концентрации в ионосфере и изменений амплитуды геомагнитного поля. В то же время данный эксперименталь-