

УДК 621.391.83

## ФИЛЬТРАЦИЯ ЭФФЕКТОВ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ЛЧМ-ИОНОЗОНДА

В.А. Иванов, М.И. Рябова, Лонг Вьет Лок

## FILTRATION OF EFFECTS OF TRAVELING WAVE DISTURBANCES IN THE IONOSPHERE USING THE LFM-IONOSONDE DATA

V.A. Ivanov, M.I. Ryabova, Luong Viet Loc

Исследована связь между характеристиками остаточного компонента и параметрами перемещающихся ионосферных возмущений. В результате анализа остаточного компонента в спектральной области выделены «восходно-заходные» эффекты. Выполнен анализ разности спектров в различное время суток и показано, что мощность разности спектра связана с влиянием ПИВ.

We study relationship between characteristics of the residual component and parameters of traveling ionospheric disturbances. «Sunrise-sunset» effects were distinguished due to analysis of the residual component in the spectral region. We also made analysis of the spectra difference at different time of day. Difference in the power spectrum was shown to be related to influence of traveling ionospheric disturbances.

В настоящее время особый интерес в вопросах переноса энергии в верхней атмосфере представляют малоизученные волновые процессы, возбуждаемые различными геофизическими возмущениями. Одним из их проявлений в ионосфере являются перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ). Изучение волновых вариаций электронной концентрации на различных высотах актуально для развития геофизики и решения ряда практических задач освоения околоземного космического пространства. Изучение возможно с применением наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) широкополосным ЛЧМ-сигналом с полосой частот, равной КВ-диапазону, при котором определяется максимально наблюдаемая частота (МНЧ) радиолинии, являющаяся индикатором космической погоды в верхней атмосфере Земли.

Цель работы – исследование «восходно-заходных» эффектов в суточных вариациях максимально наблюдаемых частот дальних радиолиний, выявление ПИВ.

### Методы исследования

Решение поставленных теоретических задач базируется на применении метода геометрической оптики. Для обработки экспериментальных данных наклонного зондирования ионосферы использовались спектральные методы, методы анализа данных и методы распознавания образов. Проведение натурных экспериментов с использованием ЛЧМ-ионозонда базируется на методике формирования ионограмм НЗИ (рис. 1) и методике выделения МНЧ (рис. 2).

Суточные вариации МНЧ разделялись на регулярный и остаточный компоненты посредством фильтрации фильтром низких частот (ФНЧ).

### Результаты и методика их анализа

В результате анализа остаточного компонента в спектральной области выделены «восходно-заходные» эффекты, поскольку остаточный компонент СХ МНЧ испытывает существенные вариации в периоды восхода (для средней точки исследуемой радиолинии в

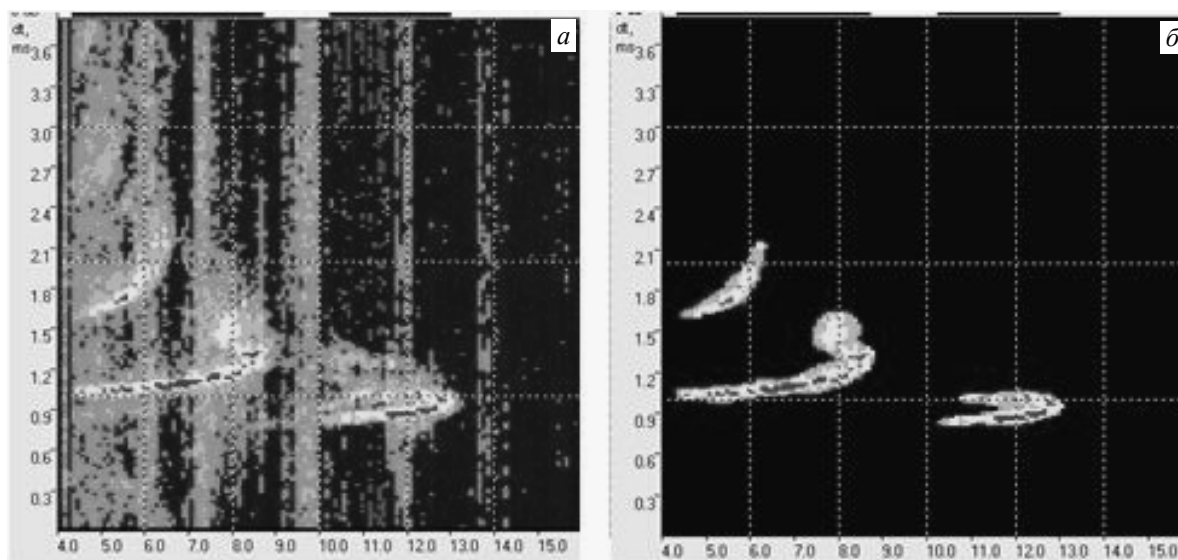


Рис. 1. Ионограмма (а) и очищенная ионограмма (б).

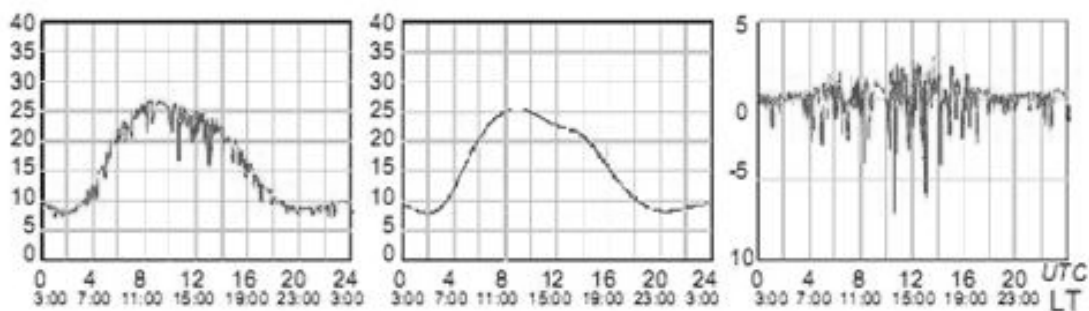


Рис. 2. Пример модели суточного хода МНЧ и результаты разделения суточного хода МНЧ.

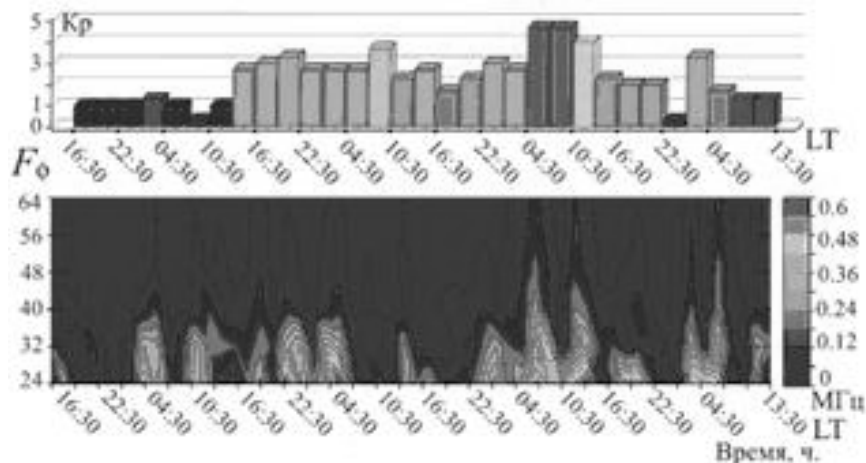


Рис. 3. Спектры остаточного компонента суточных ходов МНЧ.

в 0:00–07:00 LT) и захода Солнца (15:00–21:00 LT).

На рис. 3 приведены вариации текущих спектров остаточного компонента СХ МНЧ, полученные на радиолинии Инскип–Йошкар-Ола в частотной области 24–64  $F_{\phi}$  (фундаментальная частота суточного хода МНЧ, которая обратна по величине периоду суток). В верхней части рисунка приведены суточные ходы индекса магнитной активности  $K_p$ . Видно, что низкому уровню геомагнитной активности соответствуют «короткие» всплески остаточного компонента СХ МНЧ.

Выполнен анализ разности спектров в различное время суток, и показано, что мощность разности спектра связана с влиянием ПИВ. Методика выделения в остаточном компоненте суточных вариаций МНЧ эффектов ПИВ сводится к следующему. Считаем, что днем (ночью) влияние ПИВ на остаточный компонент несущественно. Поэтому из утреннего (вечернего) спектра остаточного компонента СХ МНЧ вычитаем дневной (ночной) спектр. Полученный разностный спектр целиком относится к ПИВ. По нему оцениваем мощность, которая по формуле, определяющей связь между вариациями остаточного компонента СХ МНЧ и амплитудами ПИВ, пересчитывается в амплитуду ПИВ. Данную методику иллюстрирует рис. 4.



Рис. 4. Фильтрация ПИВ из остаточного компонента суточных вариаций МНЧ.

### Выводы

Таким образом, установлена связь между характеристиками остаточного компонента суточных вариаций максимально наблюдаемых частот и параметрами перемещающихся ионосферных возмущений. В результате анализа остаточного компонента в спектральной области выделены «восходно-заходные» эффекты. Выполнен анализ разности спектров в различное время суток, и показано, что мощность разности спектра связана с параметрами ПИВ.

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола